

MTT RAPORTTI 9

Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa

**Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin
2009/28/EY mukainen laskenta**

Taija Sinkko, Kaija Hakala, Rabbe Thun



**Biopolttoaineiden raaka-
aineeksi viljeltävien kasvien
aiheuttamat kasvihuone-
kaasupäästöt Suomessa**

**Euroopan parlamentin ja neuvoston
direktiivin 2009/28/EY mukainen
laskenta**

Taija Sinkko, Kaija Hakala, Rabbe Thun

ISBN: 978-952-487-289-8

ISSN 1798-6419

www-osoite: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti9.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Sinkko Taija, Hakala Kaija ja Thun Rabbe

Julkaisija ja kustantaja: MTT, 31600 Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2010

Kannen kuva: MTT:n kuva-arkisto/Tapio Tuomela

Biopolttoaineiden raaka-aineeksi viljeltävien kasvien aiheuttamat kasvihuonekaasupäästöt Suomessa

Sinkko, Taija¹⁾, Hakala, Kaija²⁾, Thun, Rabbe³⁾

¹⁾ MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, taija.sinkko@mtt.fi

²⁾ MTT, Kasvintuotannon tutkimus, E-talo, 31600 Jokioinen, kaija.hakala@mtt.fi

³⁾ MTT, Biotekniikka- ja elintarviketutkimus, ET-talo, 31600 Jokioinen, rabbe.thun@mtt.fi

Tiivistelmä

Tässä raportissa esitetään eri kasvien viljelystä aiheutuvia kasvihuonekaasupäästöjä Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY (uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistäminen, ns. RES-direktiivi) mukaisesti, kun kasveja viljellään biopolttoaineiden raaka-aineeksi Suomessa. Laskelmat tehtiin parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioille ohralle, vehnälle, sokerijuurikkaalle sekä rypsilille ja rapsille. Viljelyn päästöt laskettiin myös NUTS 2 -tasolle, koska tällä tasolla Suomi ilmoittaa vehnän ja rapsin päästöt komissiolle. NUTS 2 -tason laskennassa eriteltiin kuivauksesta aiheutuvat päästöt, koska direktiivin oletusarvojen laskennassa ei ole kuivausta mukana. Elinkaariarvioinnissa kuivaus on kuitenkin yleensä ollut osana viljan korjuuta, jonka vuoksi se otettiin myös tähän tutkimukseen mukaan. Myös vehnän ja ohran kalkitsemisesta aiheutuvat päästöt esitettiin erikseen, koska direktiivissä kalkin käyttö ei ole mukana vehnän oletusarvon laskennassa. Suomessa täytyy kuitenkin myös vehnäpellot kalkita kasvukunnan ylläpitämiseksi.

Laskelmat osoittavat, että Suomessa ei päästä alle direktiivin esittämien oletusarvojen millään tässä tarkastelluista viljelykasveista, koska oletusarvot on laskettu keskimääräisille olosuhteille Euroopassa ja Suomen olosuhteet poikkeavat näistä monin tavoin, esimerkiksi satotasot ovat Suomessa paljon alhaisemmat kuin muualla Euroopassa. Parhaassa tapauksessa vehnän viljelyssä päästäisiin alle direktiivin oletusarvon, jos kalkkia ja kuivausta ei huomioitaisi. NUTS 2 -tason tarkastelussa ainoastaan ohran viljely Ahvenanmaalla jäisi alle direktiivin oletusarvojen, jos kalkkia ja kuivausta ei huomioitaisi.

Ohralle ja rypsilille ei direktiivissä ole annettu oletusarvoja, mutta parhaan ja pahimman vaihtoehdon skenaariossa havaittiin, että ohran päästöt olisivat pienemmät kuin vehnän. Tämä johtuu siitä, että lannoitusmääränä käytettiin mallasohran lannoitussuosituksista, joka on hyvin alhainen, ja ohran keskisadot ovat lähes yhtä suuret kuin vehnän. Rypsin viljelystä aiheutuvat päästöt ovat puolestaan hieman suuremmat kuin rapsin, koska rypsin satotasot ovat alhaisemmat.

Herkkyystarkasteluiden avulla selvitettiin eri tekijöiden vaikutuksia päästöihin ja etsittiin mahdollisuuksia päästä alle direktiivin oletusarvojen myös Suomen oloissa. Herkkyystarkasteluissa todettiin, että suurin vaikutus viljelyn päästöihin on sadolla ja biokaasulaitoksen typpiveden käyttämisellä väkilannoitteiden sijaan. Myös typensitajakasvien viljely aluskasvina tuo melko suuria päästösäästöjä verrattuna perustapaukseen.

Ajan mittaan Suomen olot saattavat muuttua suotuisammiksi biopolttoaineiden raaka-aineiden viljelylle kasvuolojen parantuessa ilmastonmuutoksen myötä. Kevät- ja syysvehnän, ruisvehnän sekä ohran lajikkeita on tulevaisuudessa mahdollista kehittää siten, että niiden sadot kasvavat, sadon valkuaispitoisuus laskee, satoindeksi nousee ja typen käytön tehokkuus kasvaa. Tässä raportissa esitämme tulevaisuuden potentiaalisia tyyppilajikkeita, jotka olisivat optimaalisia biopolttoaineiden raaka-aineiksi. Näillä viljelykasveilla ja -lajikkeilla olisi mahdollista alittaa RES-direktiivin oletusarvot syysvehnäällä ja ruisvehnäällä sekä parhailla sadoilla myös kevätkylvöisellä vehnäällä ja ohralla.

Avainsanat:

Bioetanoli, biodiesel, kasvihuonekaasupäästöt, ohra, vehnä, rypsi, rapsi, sokerijuurikas

Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels in Finland

Sinkko, Taija¹⁾, Hakala, Kaija²⁾, Thun, Rabbe³⁾

¹⁾ MTT, Biotechnology and Food Research, Latokartanonkaari 9, 00790 Helsinki, Finland, taija.sinkko@mtt.fi

²⁾ MTT, Plant Production Research, E-building, 31600 Jokioinen, Finland, kaija.hakala@mtt.fi

³⁾ MTT, Biotechnology and Food Research, ET-building, 31600 Jokioinen, Finland, rabbe.thun@mtt.fi

Abstract

This report presents estimated greenhouse gas emission values associated with cultivation of different crops for biofuels in Finland according to the Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of energy from renewable sources (2009/28/EY). Calculations were made for best and worst case scenarios for the cultivation of barley, wheat, sugar beet, rapeseed and turnip rape. Calculations were also made at NUTS 2 level, the level at which Finland reports emissions from cultivation to the Commission. Emissions from drying are presented separately at NUTS 2 level as drying is not included in the default values of the Directive. Drying grains before storage is usually regarded as a component of harvesting in LCA studies so we decided to include it in our calculations. Also soil liming for cultivation of wheat and barley is presented separately as it is not included in the default value for wheat in the Directive. It is, however, essential to lime wheat in Finland.

Our calculations show that the emissions from cultivation are higher than the default values for all regions and for all crops studied. This is because the default values have been calculated for average European conditions and the conditions in Finland are quite different. Yields are much lower, for example. In the best case scenario the emissions from wheat cultivation could, however, be lower than the default values, if emissions from drying and liming were omitted. At NUTS 2 level only the cultivation of barley in the Åland Islands would fall below default values without liming and drying.

No default values for barley and turnip rape are provided in the RES Directive. The emissions from barley cultivation are lower compared with those for wheat, because fertilizer use is lower (the same holds true for malting barley) and the yields are nearly the same. On the other hand, the emissions from turnip rape cultivation are higher than those for rapeseed as turnip rape yields are lower.

A sensitivity analysis was carried out in order to establish how much each factor contributes to the emissions and if there is potential to reach emission levels below the default values under Finnish conditions. The sensitivity analysis showed that the largest factors influencing the emissions from cultivation are the yield and fertilizer use. Also the cultivation of nitrogen-fixing plants has a substantial influence on the emissions compared with the basic scenario.

Optimal varieties of spring and winter wheat, triticale and barley for bioethanol production would be those having a high yield, a high harvest index and high nutrient use efficiency, but low grain protein content. Such varieties can already be found in some European countries with favorable climatic conditions for cereal production. If the growing conditions in Finland improve with climate change as predicted, it may be possible to develop such crop varieties for Finland.

This report presents optimal types of the most common spring- and autumn-sown cereals that would be best suited for ethanol production. With such optimal plant types, greenhouse gas emissions from cultivation could be lower than or close to the default values of the RES directive. The most promising varieties would be winter wheat and triticale, but the best yielding varieties of spring wheat and spring barley could also be produced with low greenhouse gas emissions.

Keywords:

Bioethanol, biodiesel, greenhouse gas emissions, barley, wheat, rape seed, turnip rape, sugar beet

Alkusanat

Tämä raportti on laadittu maa- ja metsätalousministeriön sekä työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta osana heidän tukemaansa hanketta ”Biomassan hyödyntämisen kestävyys muuttuvassa toimintaympäristössä” (Sustainability of Biomass utilisation in Changing Operational Environment, SUBICHOE) ja erityisesti osana alahanketta ”RES-direktiivin kansallisen implementoinnin ja raportoinnin sekä EU-tason valmistelun tukeminen” (IMPRESSIVE).

Raportin ensisijaisena tarkoituksena on ollut antaa virkamiehille poliittisen päätöksenteon tueksi tietoa viljelyn aiheuttamista kasvihuonekaasupäästöistä viljeltäessä kasveja biopolttoaineiden raaka-aineiksi Suomessa. Laskenta noudattaa Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin 2009/28/EY (uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistäminen, ns. RES-direktiivi) mukaisia laskentaohjeita.

Raportti on laadittu Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksessa. Tukea ja kommentteja ovat antaneet erikoistutkija Oiva Niemeläinen ja erikoistutkija Kristiina Regina MTT:n kasvintuotannon yksiköstä sekä SUBICHOE-hankkeen vastuullinen johtaja, erikoistutkija Sampo Soimakallio VTT:ltä.

Helsingissä 29.9.2010

Tekijät

Sisällysluettelo

1 Johdanto	8
2 Lähtötiedot	9
2.1 Kasvien viljelypinta-alat ja sadot	9
2.2 Siemenet	11
2.3 Lannoitteiden valmistus ja käyttö	11
2.4 Kalkin valmistus ja käyttö	11
2.5 Torjunta-aineiden valmistus ja käyttö	12
2.6 Työkoneet	13
2.7 Kuljetukset	13
2.8 Kuivaus	13
2.9 Maaperän N ₂ O-päästöt	13
2.9.1 Suorat N ₂ O-päästöt	13
2.9.2 Epäsuorat N ₂ O-päästöt	14
2.10 Saanto ja allokointi	15
3 Tulokset	16
3.1 Ohraetanoli	16
3.2 Vehnäetanoli	17
3.3 Sokerijuurikasetanoli	18
3.4 Rypsi- ja rapsibiodiesel	19
3.5 Herkkyystarkastelut	20
3.5.1 Viljelykasvien sato	20
3.5.2 Lannoitteiden valmistuksen päästöt	23
3.5.3 Olkien ja sokerijuurikkaan naattien poistaminen pellolta	24
3.5.4 Typensitojakasvien viljely	24
3.5.5 Bioenergian käyttäminen kuivauksessa	25
3.5.6 Biokaasulaitoksen typpiveden käyttäminen väkilannoitteiden sijaan	26
4 Vertailua muihin vastaaviin tutkimuksiin	27
4.1 Satotasot	27
4.2 Lannoitteiden ja kalkin käyttö	27
4.3 Maaperän N ₂ O-päästöt	28
4.4 Kuivaus	28
5 Tulevaisuuden mahdollisuudet päästöjen vähentämiseksi Suomessa	29
5.1 Kevät- ja syysvehnän, ohran sekä ruisvehnän potentiaali etanolin raaka-aineena	29
5.1.1 Jyvän valkuaispitoisuus ja lannoituksen määrä	29
5.2 Kalkitus	30
5.3 Potentiaalisen etanoliviljan minimipäästöt	30
5.3.1 Kevätvehnän etanolintuotantoon optimoitu lajike	31
5.3.2 Syysvehnän ja ruisvehnän etanolintuotantoon optimoitu lajike	32
5.3.3 Ohran etanolintuotantoon optimoitu lajike	33
6 Yhteenvedo	35
7 Kirjallisuus	37
8 Liitteet	40
LIITE 1. Päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa	40

1 Johdanto

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämistä (RES-direktiivi) 2009/28/EY artiklan 19(2) mukaan jäsenvaltioiden on 31.3.2010 mennessä toimitettava komissiolle kertomus, joka sisältää luettelon alueista, joilla maatalouden raaka-aineiden viljelystä peräisin olevien tyypillisten kasvihuonekaasupäästöjen voidaan olettaa olevan pienempiä tai samansuuruisia kuin direktiivin liitteessä V olevan D osan ”Eriteltyt oletusarvot viljelylle” -otsikon alla esitetyt päästöt. Lisäksi on laadittava kuvaus luettelon laatimisessa käytetyistä menetelmistä ja tiedoista. Käytävissä menetelmissä on otettava huomioon maaperän ominaispiirteet, ilmasto ja oletetut raaka-ainetuotot. Maankäytön muutoksista aiheutuvia hiilivarantojen muutoksia ei kuitenkaan oteta huomioon viljelyn päästöjen laskennassa, vaan tälle on oma erillinen kohtansa polttoaineen käytöstä aiheutuvien kokonaispäästöjen laskentakaavassa. Myös itse viljely aiheuttaa maaperän hiilivarantoihin muutoksia, mutta direktiivissä ei ole sanottu pitäisikö tämä huomioida laskelmissa.

Viljelyn päästöjen oletusarvot pitävät sisällään viljelyprosessin päästöt, raaka-aineen korjuun päästöt sekä viljelyssä käytettävien kemikaalien tai tuotteiden tuotannosta aiheutuvat päästöt. Allokointi polttoaineen ja sivutuotteen kesken on direktiivin mukaan tehtävä alemman lämpöarvon mukaan riippumatta sivutuotteen todellisesta loppukäyttötavasta. Metaani muutetaan hiilidioksidiekvivalenteiksi kertoimella 23 ja dityppioksidi kertoimella 296.

Direktiivin liitteessä V on annettu seuraavat kasvihuonekaasujen tyypilliset päästöt viljelylle:

- etanoli vehnästä 23 g CO₂-ekv./MJ
- etanoli sokerijuurikkaasta 12 g CO₂-ekv./MJ
- biodiesel rapsista 29 g CO₂-ekv./MJ.

Suomessa todennäköisimmät ensimmäisen sukupolven biopolttoaineet olisivat etanoli vehnästä tai ohrasta ja biodiesel rypsiä tai rapsista, joille tässä selvityksessä on laskettu viljelystä aiheutuvat päästöt. Lisäksi viljelystä aiheutuvat päästöt on laskettu sokerijuurikasetanolille, vaikka sokerijuurikkaita ei yksinään voida käyttää etanolilaitoksen raaka-aineena huonon säilyvyyden vuoksi.

Alustavissa tarkasteluissa havaittiin, että direktiivin antamien tyypillisten kasvihuonekaasupäästöjen alittaminen Suomen olosuhteissa tulee olemaan hyvin vaikeaa, jonka vuoksi päätettiin laatia parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaariot, joiden avulla nähdään millä välillä viljelyn päästöt liikkuvat Suomessa. Viljelyn oletettiin tapahtuvan kivennäismaalla, koska orgaanisten maiden päästöt ovat huomattavasti korkeammat maaperästä vapautuvan hiilidioksidin vuoksi, joten niillä ei olisi mitään mahdollisuutta päästä alle RES-direktiivin oletusarvojen. Toisaalta orgaanisten maiden käyttö viljelykasvien tuotantoon on melko vähäistä, koska suuri osa orgaanisista maista sijaitsee karjankasvatusalueilla ja on täten laidun- ja rehunurmikäytössä. Laskelmat tehtiin myös NUTS¹ 2 -tasolle², koska tällä tasolla Suomi raportoi alueelliset päästöt komissiolle. Lisäksi tehtiin herkkyystarkasteluja, joiden avulla haluttiin selvittää millä tekijöillä on eniten vaikutusta viljelyn päästöihin. Samalla pyrittiin löytämään edellytyksiä, joilla direktiivissä annetut päästöjen oletusarvot voitaisiin alittaa myös Suomessa.

Raportin lopussa on tarkasteltu tulevaisuuden mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseksi Suomessa. Ilmastomuutoksen myötä kasvuolojen on ennustettu paranevan Suomessa, jolloin viljelyyn voidaan ottaa paremmin etanolin tuotantoon soveltuvia lajikkeita kevät- ja syysvehnästä, ruisvehnästä ja ohrasta. Optimaalisilla lajikkeilla jyvien valkuaispitoisuus on matala ja satoindeksi sekä typen käytön tehokkuus korkeat, jolloin viljelystä aiheutuu vähemmän päästöjä tuotettua energiayksikköä kohti etenkin typpilannoituksen vähentämisen kautta. Lisäksi tulevaisuuden suurempi satopotentiali (Peltonen-Sainio ym. 2009b) parantaa peltobioenergian tuotantomahdollisuuksia.

¹ NUTS = Nomenclature of Territorial Units for Statistics (Euroopan unionin käyttämä alueluokitusjärjestelmä)

² NUTS 2 -taso muodostuu suuralueista, joita Suomessa on viisi kappaletta: Itä-Suomi, Etelä-Suomi, Länsi-Suomi, Pohjois-Suomi ja Ahvenanmaa

2 Lähtötiedot

Tässä luvussa esitellään laskennassa käytetyt lähtötiedot. Laskenta on tehty parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioille vehnälle, ohralle, sokerijuurikkaalle ja rypsillem. Lisäksi päästöt on laskettu NUTS 2 -tasolle, koska Suomi raportoi vehnän ja rapsin viljelyn alueelliset päästöt tällä tasolla komissiolle.

2.1 Kasvien viljelypinta-alat ja sadot

Tarkasteltavien viljelykasvien viljelypinta-alat TE-keskuksittain on esitetty taulukossa 1. Lisäksi taulukossa on esitetty kesannot, joita voitaisiin ottaa bioenergiakasvien viljelyyn. Viljakasveja viljellään eniten Etelä- ja Länsi-Suomessa ja suurin viljelyala on ohralla. Myös rypsiä ja pieniä määriä rapsia (noin 11000 ha) viljellään eniten Etelä- ja Länsi-Suomessa. Rapsin viljelyala on ollut viime vuosina kasvussa ja tulee todennäköisesti kasvamaan edelleen rypsin kustannuksella. Syitä tähän ovat ilmastonmuutoksen myötä pidentyvä kasvukausi, viljelijöiden hyvät kokemukset rapsin viljelystä sekä kasvinjalostuksen kehittämät paremmat lajikkeet (Peltonen-Sainio ym. 2008, 2009a). Sokerijuurikkaan viljely on keskittynyt Varsinais-Suomeen ja Satakuntaan. Taulukosta 1 nähdään, että Etelä- ja Länsi-Suomessa olisi eniten potentiaalista peltoalaa, jota voitaisiin ottaa bioenergiakasvien viljelyyn.

Taulukko 1. Eri viljelykasvien viljelyalat ja kesantoalat (1000 ha) TE-keskuksittain vuonna 2009 (Tike 2010).

TE-keskus	Ohra	Vehnä	Sokerijuurikas	Rypsi	Rapsi	Kesanto
Uusimaa	43,7	50,3	0,6	8,1	3,6	23,5
Varsinais-Suomi	92,6	69,7	6,9	14,9	4,4	23,6
Satakunta	42,3	12,8	5,2	3,9	0,1	12,1
Häme	60,1	20,9	1,4	8,7	1,0	19,4
Pirkanmaa	33,1	11,1	0,0	7,3	0,5	19,7
Kaakkois-Suomi	31,7	17,6	0,0	5,8	0,6	19,9
Etelä-Savo	9,9	1,3	0,0	0,6	0,0	9,0
Pohjois-Savo	27,0	1,7	-	1,0	0,0	12,8
Pohjois-Karjala	10,7	1,8	-	0,8	0,0	9,1
Keski-Suomi	14,2	1,8	-	1,6	-	14,2
Etelä-Pohjanmaa	66,4	12,1	0,1	9,6	0,3	24,7
Pohjanmaa	69,6	10,2	0,3	5,8	0,4	15,0
Pohjois-Pohjanmaa	54,7	2,8	-	1,6	-	20,1
Kainuu	3,3	0,1	-	0,0	-	3,5
Lappi	1,7	-	-	-	-	2,3
Ahvenanmaa	0,9	1,9	0,1	0,2	0,0	0,9
Koko Suomi	561,8	216,2	14,8	69,9	11,0	229,8

Taulukossa 2 on esitetty eri viljelykasvien keskimääräiset sadot TE-keskuksittain vuonna 2009, joka oli hyvä satovuosi. Rapsin keskisadot ovat hieman suuremmat kuin rypsin, mutta sen viljely on vaikeampaa pidemmän kasvuajan vuoksi (Lassi & Tulisalo 2009). Alueiden keskisadot vaihtelevat eri vuosina, mutta taulukosta 2 nähdään, että parhaimmat satotasot saavutetaan yleensä Etelä- ja Länsi-Suomessa sekä Ahvenanmaalla. Useamman vuoden satotasojen tarkasteluissa käy ilmi, että myös Ahvenanmaalla on viljelty rapsia vuonna 2008. Tällöin sato oli huomattavasti parempi kuin Manner-Suomessa. Tämä voisi johtua esimerkiksi siitä, että viljelyala (joka oli vain 26 ha) oli valittu siten, että sato varmasti onnistuisi hyvin. Myös ohran sato oli Ahvenanmaalla huomattavasti korkeampi kuin muiden TE-keskusten alueilla, joka voi myös johtua siitä, että sen viljelyyn on panostettu huomattavasti enemmän kuin esimerkiksi vehnän viljelyyn, jota onkin kenties viljelty vain huonommilla pelloilla.

Taulukko 2. Eri viljelykasvien keskimääräiset sadot (kg/ha) TE-keskuksittain vuonna 2009 (Tike 2010).

TE-keskus	Ohra	Vehnä	Sokerijuurikas	Rypsi	Rapsi
Uusimaa	3940	4030	38800	1760	1970
Varsinais-Suomi	4220	4330	40140	1700	2070
Satakunta	3850	4370	34850	1690	1540
Häme	3810	4120	35850	1800	2010
Pirkanmaa	3770	3960	-	1620	1470
Kaakkois-Suomi	3650	3960	-	1720	1840
Etelä-Savo	3470	3250	-	1030	-
Pohjois-Savo	3780	3920	-	1130	-
Pohjois-Karjala	2970	2820	-	1260	-
Keski-Suomi	3310	3440	-	1650	-
Etelä-Pohjanmaa	4070	4080	-	1730	2430
Pohjanmaa	4020	4190	37000	1610	-
Pohjois-Pohjanmaa	3580	3430	-	1720	-
Kainuu	2460	2910	-	-	-
Lappi	1940	-	-	-	-
Ahvenanmaa	4680	3920	37030	-	-
Koko Suomi	3860	4120	37710	1690	1980

Direktiivin mukaan tarkastelu tulisi suorittaa NUTS 2 -aluejakoa, tai sitä alhaisempaa aluejakoa, noudattaen. NUTS 2 -alueet ovat seuraavat:

- Itä-Suomi (Etelä-Savo, Pohjois-Savo, Pohjois-Karjala, Kainuu)
- Etelä-Suomi (Uusimaa, Varsinais-Suomi, Häme, Kaakkois-Suomi)
- Länsi-Suomi (Satakunta, Pirkanmaa, Keski-Suomi, Etelä-Pohjanmaa, Pohjanmaa)
- Pohjois-Suomi (Pohjois-Pohjanmaa, Lappi)
- Ahvenanmaa.

Taulukossa 3 on esitetty NUTS 2 -alueiden keskisadot vuonna 2009. Keskisadot on laskettu TE-keskusten keskisadoista. Taulukosta 3 nähdään, että rypsin keskisato olisi Pohjois-Suomessa korkeampi kuin Länsi-Suomessa. Tämä johtuu siitä, että Lapissa ei viljellä ollenkaan rypsiä, joten Pohjois-Suomen keskisato on sama kuin Pohjois-Pohjanmaan keskisato ja vuonna 2009 Pohjois-Pohjanmaalla saatiin todella hyviä rypsisatoja.

Taulukko 3. Eri viljelykasvien keskimääräiset sadot (kg/ha) NUTS 2 -alueittain.

Alue	Ohra	Vehnä	Sokerijuurikas	Rypsi	Rapsi
Itä-Suomi	3170	3225	-	1140	-
Etelä-Suomi	3905	4110	38263	1745	1973
Länsi-Suomi	3804	4008	35925	1660	1813
Pohjois-Suomi	2760	3430	-	1720	-
Ahvenanmaa	4680	3920	37030	-	-

Alustavissa tarkasteluissa havaittiin, että direktiivin antamien tyypillisten kasvihuonekaasupäästöjen alittaminen Suomen olosuhteissa on hyvin vaikeaa, jonka vuoksi päätettiin tehdä parhaan ja huonoimman vaihtoehdon tarkastelu. Taulukossa 4 on esitetty parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioiden laskennassa käytetyt satotasot eri kasveille. Parhaimpaan vaihtoehtoon valittiin neljän vuoden tarkastelujakson (2005-2008) korkein satotaso Manner-Suomesta ja huonoimpaan alhaisin satotaso samalta alueelta, paitsi rypsin/rapsin osalta, koska alhaisin satotaso oli niin poikkeava muihin vuosiin ja alueisiin verrattuna. Esimerkiksi ohran keskisato oli Pohjanmaalla 4460 kg/ha vuonna 2007, kun vuonna 2005 keskisato oli samalla alueella vain 3750 kg/ha.

Taulukko 4. Parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioissa käytetyt satotasot eri kasveille. Viljojen kosteus on 14 % ja rypsin 9 %.

	Paras vaihtoehto, kg/ha	Huonoin vaihtoehto, kg/ha
Ohra	4460	3800
Vehnä	4290	3920
Rypsi ja rapsi	1810	1610
Sokerijuurikas	45420	30900

2.2 Siemenet

Siementen keskimääräinen käyttö eri kasveilla on seuraavanlainen (Virtanen ym. 2009, Lassi & Tulisalo 2009):

- vehnä 274 kg/ha
- ohra 269 kg/ha
- rypsi 8,3 kg/ha
- rapsi 10 kg/ha
- sokerijuurikas 3,3 kg/ha.

Kun vehnän ja ohran siemensato on noin 4000 kg/ha, rypsin 1700 kg/ha ja rapsin 1800 kg/ha, ovat siementen aiheuttamat päästöt vehnällä ja ohralla noin 7 % koko viljelyn päästöistä ja rypsilä sekä rapsilla noin 0,5 %.

Sokerijuurikkaan siemeniä ei viljellä Suomessa, vaan ne tulevat pääasiassa Etelä-Euroopasta ja jonkin verran myös Ruotsista. Sokerijuurikkaan keskisiemensato Ruotsissa on ollut 745 yks/ha (1 yks on 100 000 siementä) vuosina 2002-2006. Siemeniä kylvetään noin 1,05 yks/ha eli noin 105 000 siementä hehtaarille. (Svärd 2010) Tämä tarkoittaa, että sokerijuurikkaan siementen aiheuttamat päästöt ovat ainoastaan 0,14 % koko viljelyn päästöistä.

2.3 Lannoitteiden valmistus ja käyttö

Lannoitteita valmistetaan Suomessa ainoastaan Yaran tehtailla, jolloin myös suurin osa Suomessa käytävistä lannoitteista on Yaran lannoitteita. Yaran typpihappotehtaille on asennettu katalyyttiset typenpoistolaitteet vuonna 2009, joiden ansiosta typpihapon valmistuksen N₂O-päästöt ovat lähes 90 % aiempaa alhaisemmat. Tämä tarkoittaa koko lannoitteiden valmistuksen osalta 40-50 % vähennystä kokonaispäästöistä. Yara on antanut takuun, että Pohjoismaissa valmistettujen lannoitteiden päästöt ovat alle 4 kg CO₂-ekv./kg N (Yara 2010a). Tätä arvoa on käytetty huonoimman vaihtoehdon skenaariossa, koska tätä suuremmat päästöt eivät ole, jos käytetään kotimaisia lannoitteita. Parhaassa tapauksessa on käytetty Yaran suosituimman NPK-lannoitteen valmistuksen päästöjä, jotka ovat hieman alhaisemmat (Yara 2010a). Lannoitteita tuodaan hieman myös ulkomailta, mutta sitä ei tässä tarkastelussa ole otettu huomioon. Herkkyytarkasteluissa tarkastellaan lannoitteiden valmistuksen päästöjen vaikutusta kokonaispäästöihin (luku 3.5.2).

Lannoitteiden käyttömäärät perustuvat Ympäristötuen sitoumusehtojen sallittuihin lannoitusmääriin (Maaseutuvirasto 2009), sekä toisaalta ohran osalta kasvuohjelman mukaisiin typpilannoitus-suosituksiin kivennäismailla (Agrimarket 2009). Typpilannoitteen käyttömäärät eri kasveille on esitetty taulukossa 5. Parhaassa tapauksessa lannoitteiden käytön on oletettu olevan ohralla mallasohran suosituksen mukainen, jolloin ohran tärkkelyspitoisuus olisi korkeampi ja samalla etanolin saanto olisi parempi kuin rehuohralla. Myös muille kasveille on oletettu parhaassa tapauksessa hieman suosituksia alhaisempi typpilannoitteen määrä.

Taulukko 5. Typpilannoitteen käyttömäärät parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioissa.

	Paras vaihtoehto, kg N/ha	Huonoin vaihtoehto, kg N/ha
Ohra	70	90
Vehnä	100	110
Rypsi ja rapsi	100	110
Sokerijuurikas	130	140

2.4 Kalkin valmistus ja käyttö

Kalkitus on Suomen oloissa välttämätön toimenpide, koska Suomen maaperä on luontaisesti kalkkiköyhää ja helposti happamoituvaa (Elonen 1982). Lisäksi maanviljely happamoittaa maata typpilannoituksen kautta. Etenkin ammonium-typpi hapettuessaan maassa nitraatiksi muodostaa maahan happoja (Elonen 1982). Teoriassa 100 ammoniumtyppikiloa vaatisi lähes tonnin kalkkikivijauhetta, jotta maa ei

happanisi (Jaakkola 1982a), mutta käytännön kokeet ovat osoittaneet, että typpilannoituksen neutralointiin riittää kaksi kiloa kalkkia yhtä lannoitetyppikiloa kohti (Elonen 1982, K-maatalouden viljelyohjelma). Aiemmin typpilannoituksen koostumus oli hyvin ammoniumtyppivoittainen, jopa $\frac{3}{4}$ kokonaistypestä oli ammoniumtyypeä (Elonen 1982). Nykyään ammoniumtyypeä on erilaisissa pellon Y-lannoksissa runsas puolet kokonaistypestä (lannoitteesta riippuen 52-66 %) (Yara 2010b). Lannoituksen lisäksi myös maan muokkaus vähentää kalkin määrää maassa huuhtoutumisen lisääntymisen kautta. Korjatun sadon mukana taas maasta poistuu emäksisiä aineita, kuten kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia, mikä osaltaan happamoittaa maata. Toisaalta etenkin kaliumia lisätään aina NPK-lannoitteiden mukana maahan, mikä taas estää happamoitumista.

Suomen oloissa maata on kalkittava säännöllisin väliajoin jo EU:n määräystenkin takia. Ilman kalkitusta maan pH laskisi tasolle, jossa kasvi ei enää saa kaikkia maan ravinteita käyttöön (Kalkitusopas 2007). Ohran ja vehnän viljelylle edullinen pH-alue alkaa savi- ja kivennäismailla noin pH 6:sta (Jaakkola 1982b, Kalkitusopas 2007). Mitä multavampi maa on, sitä alempi pH saa olla kasvin menestymisen kannalta. Eloperäisillä mailla ohran ja vehnän kasvuun riittää alle pH 6, turvemailla noin pH 5,5 (Jaakkola 1982b, Kalkitusopas 2007). Yleinen suositus on, että savi- ja kivennäismailla pH:n olisi oltava noin 6,5 ja eloperäisillä mailla 6,0 (Kalkitusopas 2007). Jos pH-arvo on liian matala, se pitää ensin nostaa viljeltävää kasvilajista riippuvalle hyvälle tasolle yhdellä tai useammalla panoskalkituksella. Vaikka eloperäisillä mailla riittää pienempi pH kasvien menestymiseen, pH:n nostoon tarvitaan enemmän kalkkia kuin savi- mailla. Esimerkiksi vähämultaisella savimaalla pH:n nosto 5,5:sta 6,0:een vaatii viisi tonnia kalkkia/ha, kun sama nosto turvemaalla esim. 5,0:sta 5,5:een vaatisi yli 12 tonnia kalkkia/ha (Kalkitusopas 2007). Tämän jälkeen pH:ta pitää ylläpitää vähintään tyydyttävällä tasolla, mikä savimailla ja karkeilla kivennäismailla on noin 6, turvemailla noin 5,2 ja multamailla noin 5,4 (Kalkitusopas 2007, Maatalouskalenteri 2007). Elosen (1982) mukaan vuosittain maan neutralointiin tarvittaisiin 300 kg kalkkikivijauheen lisäys hehtaaria kohti. Ruotsissa vastaava luku olisi 300-400 kg ja Tanskassa 500 kg/ha (Elonen 1982). Saarela ym. (2000) tosin viittaavat ruotsalaiseen tutkimukseen, jonka mukaan pH:n pitäminen noin 6,2:ssa vaatisi vain noin 200 kg kalkkia/ha/v. K-maatalouden viljelyohjelman mukaan vuosittainen ylläpitokalkituksen tarve olisi 300-800 kg/ha. Maatalouskalenterin (2007) ilmoittamien EU:n säännösten mukaan kalkkia pitää lisätä jokaisen 6-vuotisen ohjelmakauden aikana 4-6 tonnia (667-1000 kg/v), mutta vain jos pH on laskenut alle tyydyttävän tason. Pääasia kalkituksessa ovatkin säännölliset viljavuusanalyysit, joilla seurataan tilannetta ja toimitaan tilanteen mukaan.

Parhaan vaihtoehdon skenaariossa päädyttiin käyttämään MTT:n tekemän Peltobioenergia-hankkeen raportin (Virtanen ym. 2009) mukaisia käyttömääriä, jotka perustuvat ProAgrian lohkotietopankin aineistoon. Nykyään kalkin käyttömäärät voivat olla hieman alhaisemmat, koska aineisto on 2000-luvun alkupuolelta, jonka jälkeen kalkin käyttö on ollut laskusuunnassa. Huonoimman vaihtoehdon skenaariossa kalkkia oletettiin käytettävän 800 kg/ha. Ylläpitokalkituksen minimimäärää 300 kg/ha käytettiin vain tulevaisuuden mahdollista optimitulosta laskettaessa (luku 5).

Tutkimuksessa käytetyt kalkkimäärät ovat parhaassa tapauksessa:

- 685 kg/ha (ohra ja vehnä)
- 346,6 kg/ha (rypsi ja rapsi)
- 673 kg/ha (sokerijuurikas).

Kalkin louhinnan, valmistuksen ja käytön päästöjen osalta on käytetty Nordkalkilta saatuja tietoja (Welin 2008).

2.5 Torjunta-aineiden valmistus ja käyttö

Torjunta-aineiden käyttömäärät perustuvat Agrimarketin (2009) kasvuohjelmiin ja K-maatalouden (2010) viljelyoppaaseen, koska viljelijöiden oletetaan toimivan näiden suositusten mukaisesti. Torjunta-aineita oletetaan käytettävän parhaassa tapauksessa 2 kg/ha ja huonoimmassa tapauksessa 4 kg/ha. Käytettävissä olevat torjunta-aineet ja niiden käyttömäärät voivat tulevaisuudessa muuttua ilmastonmuutoksen myötä, mutta torjunta-aineiden käytöstä aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt ovat marginaalisia, joten sillä ei ole juuri merkitystä lopputuloksen kannalta.

Torjunta-aineiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat (Ahlgren ym. 2009):

- 4,92 kg CO₂/kg tehoainetta
- 0,00018 kg CH₄/kg tehoainetta

- 0,0015 kg N₂O/kg tehoainetta.

2.6 Työkoneet

Työkoneiden polttoaineen kulutukset on laskettu MTT:n traktorityömallilla, joka on kehitetty Nebraskan yliopistossa kehitetyn mallin pohjalta (Grisso ym. 2007). Tarkastelussa on perinteinen viljelymenetelmä, jonka työvaiheita ovat maanmuokkaus (kyntö ja äestys), kylvö, lannoitus, torjunta-aineiden levitys, puinti ja sadon kuljetukset. Sokerijuurikkaalla työvaiheisiin kuuluu puinnin sijaan juurikkaan nosto. Parhaassa tapauksessa on oletuksena, että 10 % työkoneissa käytetystä polttoaineesta on biopolttoainetta, koska biopolttoaineiden käyttö on teknisesti täysin mahdollista työkoneissa ja sen käytön oletetaan yleistyvän tulevaisuudessa.

2.7 Kuljetukset

Lannoitteiden ja kalkin kuljetuksista aiheutuvia päästöjä laskettaessa kuljetusmatkaksi on oletettu 200 km. Lisäksi on oletettu, että lannoitteet ja kalkki kuljetetaan valmistuspaikalta käyttöpaikalle täysperävaunuyhdistelmällä, joka on täynnä (40 tonnia) ja paluukuormat ovat tyhjiä. Päästötiedot ovat VTT:n LIISA-tietokannasta³. Ahvenanmaalle lannoitteet ja kalkki joudutaan kuljettamaan laivalla, mutta sitä ei tässä tutkimuksessa ole huomioitu, koska kuljetuksista aiheutuvat päästöt ovat marginaalisia.

2.8 Kuivaus

Vilja puidaan yleensä noin 20 %:n kosteudessa ja kuivataan 14 %:n kosteuteen varastointia varten. Bioenergian raaka-aineeksi tulevan viljan puintia voitaisiin kuitenkin siirtää hieman myöhemmäksi, koska viljan laadun ei tarvitse olla yhtä hyvä kuin leivontaan menevän viljan. Rypsi ja rapsi puidaan yleensä hieman alle 20 %:n kosteudessa. Rypsin puintia voidaan siirtää ilmojen salliessa myös myöhemmäksi, koska ne eivät varise helposti, mutta rapsi varisee helposti, joten sen puintia ei ole syytä viivytellä (Lassi & Tulisalo 2009). Rypsi ja rapsi kuivataan puinnin jälkeen 9 %:n kosteuteen. Parhaan tapauksen skenaariorissa oletuksena on, että viljojen sekä rypsin ja rapsin puinti tehdään 18 %:n kosteudessa. Huonoimmas tapauksessa oletuksena on, että puinti tehdään 20 %:n kosteudessa.

Tällä hetkellä kuivaus suoritetaan useimmiten öljykattilan avulla. Viljan kuivaus kuluttaa öljyä 0,14 kg/kg vettä (Suomi ym. 2003). Tulevaisuudessa on mahdollista, että siirrytään käyttämään enemmän bioöljyjä tai haketta kuivaukseen. Herkkyystarkasteluissa onkin tarkasteltu kuinka suuri vaikutus päästöihin olisi, jos siirryttäisiin käyttämään haketta kuivauksessa.

2.9 Maaperän N₂O-päästöt

Dityppioksidia vapautuu maaperästä mikrobitoiminnan aiheuttamien nitrifikaatio- ja denitrifikaatioprosessien seurauksena. Prosessien voimakkuuteen ja dityppioksidin muodostumiseen ja vapautumiseen vaikuttavat monet tekijät, joita ovat mm. typen määrä ja kemiallinen olomuoto, maan happitila, pH, kosteus, lämpötila ja liukoisen hiilen määrä (Pipatti ym. 2000). IPCC:n ohjeiden mukaan maatalousmaiden N₂O-päästöjen arvioinnissa tulee ottaa huomioon lisääntyneestä typpikuormituksesta aiheutuvat suorat ja epäsuorat N₂O-päästöt.

2.9.1 Suorat N₂O-päästöt

Maaperän suorat N₂O-päästöt muodostuvat lannoitteiden käytön ja kasvitähteiden (crop residues) aiheuttamista N₂O-päästöistä. Lannoitteiden käytöstä aiheutuvien päästöt lasketaan yhtälöllä 1 (IPCC 2006).

$$N_2O_{fert} = N_{fert} \cdot EF \cdot \frac{44}{28} \quad (1)$$

³ <http://lipasto.vtt.fi/liisa/index.htm>

missä N_{fert} on käytetyn typen määrä (kg)
 EF on päästökerroin (0,01 kg N₂O-N/kg N).

Kasvitähteistä aiheutuvien N₂O-päästöjen laskennassa tulee ottaa huomioon sekä kasvin maanpäällinen biomassa että maanalainen biomassa (juuret). Kasvitähteistä aiheutuvat päästöt lasketaan yhtälöllä 2. (IPCC 2006)

$$N_2O_{kasvitähte} = (m_{olki} \cdot N_{olki} + m_{juuret} \cdot N_{juuret}) \cdot EF \cdot \frac{44}{28} \quad (2)$$

missä m_{olki} on maanpäällisen biomassan massa (kg)
 N_{olki} on maanpäällisen biomassan typpipitoisuus (%)
 m_{juuret} on maanalaisen biomassan massa (kg)
 N_{juuret} on maanalaisen biomassan typpipitoisuus (%)
 EF on päästökerroin (0,0125 N₂O-N/kg N).

Kasvin maanpäällinen biomassa lasketaan satoindeksin (Harvest Index, HI) avulla. Satoindeksi tarkoittaa korjatun sadon kuiva-aineen suhdetta maanpäälliseen kokonaisbiomassaan. Satoindeksit ovat ohralle 0,55, vehnälle 0,45, rypsilille sekä rapsille 0,35 ja sokerijuurikkaalle 0,66 (Pahkala ym. 2009). Viljojen ja rypsin/rapsin maanalaisen biomassan määrä on 22 % maanpäällisestä biomassasta (Ahlgren ym. 2009). Koska sokerijuurikkaan naatteja käytetään jonkin verran eläinten rehuna, on tässä oletettu, että puolet naateista kerätään talteen.

Maaperän N₂O-päästöistä voidaan vähentää vertailumaankäyttötavan päästöt, joka yleensä tarkoittaa ke-santoa. JEC (2007) raportissa, jonka pohjalta direktiivin lähtöarvot on laskettu, vertailumaankäyttö oli vähennetty, koska tutkimuksessa oli käytetty mitattuja arvoja ja myös lannoittamattomille pelloille oli mitattu pieniä N₂O-päästöjä. IPCC:n kertoimet ottavat kuitenkin huomioon ainoastaan lisätystä tyypestä ja kasvitähteistä aiheutuvat päästöt, joten vertailumaankäytön vähentämiselle ei ole perusteita, kun käytetään IPCC:n kertoimia. Tässä tutkimuksessa päätettiin vertailumaankäyttö vähentää parhaassa tapaukses-sa ja huonoimmassa tapauksessa jättää vähennys tekemättä. Parhaassa tapauksessa tehty vähennys on 0,29 kg N₂O-N/ha eli 135 kg CO₂-ekv./ha (Saarijärvi ym. 2004).

2.9.2 Epäsuorat N₂O-päästöt

Epäsuorat N₂O-päästöt muodostuvat lannoitteiden käytöstä aiheutuvasta typen haihdunnasta ja valunnasta ja ne lasketaan yhtälön 3 mukaisesti (IPCC 2006).

$$N_2O_{epäsuora} = (N_{fert} \cdot Frac_{GASF} \cdot EF_{GASF} + N_{fert} \cdot Frac_{LEACH} \cdot EF_{LEACH}) \cdot \frac{44}{28} \quad (3)$$

missä EF_{GASF} on päästökerroin haihtuvalle osalle (0,01 kg N₂O-N/kg N)
 $Frac_{LEACH}$ on valuva osa tyypestä (0,15)
 EF_{LEACH} on päästökerroin valuvalla osalla (0,0075 kg N₂O-N/kg N).

Laskennassa käytetyt kertoimet ovat IPCC:n (2006) ohjeiden mukaiset, paitsi valuva osa tyypestä, joka on kansallisen kasvihuonekaasuinventaarion mukainen (Statistics Finland 2009), koska se kuvaa paremmin Suomen tilannetta.

Myös epäsuorista päästöistä on parhaassa tapauksessa vähennetty vertailumaankäytön aiheuttamat päästöt. Viherkesannosta aiheutuva typpihuuhtouma on hyvin pieni, noin 5-6 kg/ha vuodessa (Salo 2010) ja tässä on valittu käytettäväksi viiden kilon typpihuuhtoumaa vertailumaalle, joka tarkoittaa CO₂-ekvivalentteina 17,4 kg/ha. Huonoimman tapauksen skenaariossa vähennystä ei ole tehty.

2.10 Saanto ja allokointi

Ohran etanolisaanto on nykyteknologialla 6,51 MJ/kg ohraa (Pöyry 2006) ja vehnän 7,45 MJ/kg ohraa (Virtanen ym. 2009). Etanolisaanto voi kuitenkin tulevaisuudessa olla hieman korkeampi parempien teknologioiden ja kemikaalien ansiosta, jonka vuoksi parhaassa tapauksessa on saannoksi oletettu 7,05 MJ/kg ohraa ja 7,93 MJ/kg vehnää. Myös tulevaisuudessa mahdollisesti viljelyyn tulevat tärkkelys-vehnälajikkeet voivat parantaa vehnän etanolisaantoa. Sokerijuurikkaan etanolisaanto on noin 2,1 MJ/kg sokerijuurikasta (Kymäläinen 2007).

Rypsin ja rapsin biodieselsaanto riippuu puristusprosessista (kuuma- tai kylmäpuristus). Virtasen ym. (2009) mukaan biodieselin saanto on 14,82 MJ/kg rypsiä suuren mittakaavan biodieseltuotannossa. Bernesson ym. (2004) raportoi biodieselin saannoksi 15,11 MJ/kg rapsia teollisen mittakaavan biodiesel tuotannossa. Tässä selvityksessä on päädytty käyttämään saannoksi parhaan vaihtoehdon skenaariossa 15,11 MJ/kg rypsiä/rapsia ja huonoimman vaihtoehdon skenaariossa 14,82 MJ/kg rypsiä/rapsia.

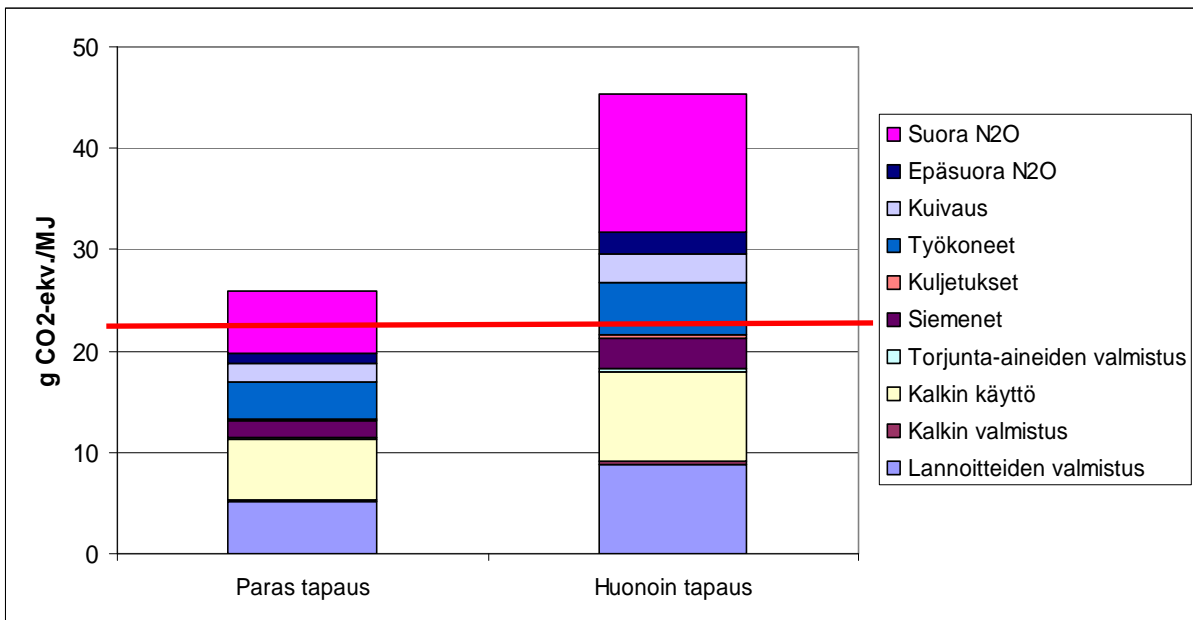
Allokointi tulee suorittaa lopputuotteiden alempien lämpöarvojen suhteessa. Etanolin valmistuksen sivutuotteena syntyy rankkia, jonka lämpöarvo on Bernessonin ym. (2006) mukaan 19,51 MJ/kg kuivaainetta, jolloin viljan viljelyn päästöistä allokoidaan 60,8 % etanolille. Valmistettaessa etanolia sokerijuurikkaasta, syntyy sivutuotteena vinassia, jonka kosteuspitoisuus on hyvin korkea, 85 % (Kymäläinen 2007). Vinassin hyödyntäminen polttamalla onkin hyvin kannattamatonta. Koska allokointi tulee suorittaa lämpöarvojen suhteessa, täytyy sokerijuurikkaan viljelyn päästöistä 95 % allokoida etanolille. Biodieselin valmistuksen sivutuotteena syntyy rypsipuristetta ja glyserolia, mutta glyserolille ei direktiivin mukaan saa allokoida päästöjä. Teollisen mittakaavan biodieselin tuotannossa rypsin ja rapsin viljelyn päästöistä allokoidaan biodieselille 64,4 % (Bernesson ym. 2004).

3 Tulokset

Tässä luvussa on esitetty eri viljelykasvien viljelyn päästöt biopolttoaineiden raaka-aineeksi parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa. Tulokset on esitetty pylväsdiagrammeina ja taulukoidut arvot ovat liitteessä 1. Tämän lisäksi päästöt on esitetty taulukoituina NUTS 2 -alueittain. NUTS 2 -tason laskennan pohjana on parhaan vaihtoehdon skenaario, mutta maaperän N₂O-päästöistä ei ole tehty vertailumaankäytön vähennystä ja työkoneissa ei oleteta olevan mukana biopolttoainetta, koska nämä oletukset kuvaavat paremmin todellista tilannetta. Kuivauksesta aiheutuvat päästöt on esitetty erikseen, koska se ei ole mukana direktiivin oletusarvojen laskennassa. Elinkaariarvioinnissa kuivaus on kuitenkin yleensä ollut osa viljan korjuuta, joten päätimme ottaa sen mukaan laskelmiin. Direktiivin oletusarvojen laskennan pohjalla ei myöskään vehnän osalta ole kalkkia mukana, mutta Suomessa myös vehnämaita täytyy kalkita (ks. luku 2.4). Tämän vuoksi myös kalkituksesta aiheutuvat päästöt vehnän ja ohran viljelyssä on esitetty erikseen NUTS 2 -tasolla, jotta tuloksia voitaisiin verrata direktiivin oletusarvoihin. Kuvissa 1-4 olevat punaiset vaakaviivat osoittavat direktiivin raja-arvoja, joiden alle viljelyn päästöjen tulisi jäädä.

3.1 Ohraetanoli

Kuvassa 1 on esitetty ohran viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa. Parhaassa tapauksessa ohran viljelyn päästöt ovat melko lähellä direktiivissä vehnäetanolille annettua oletusarvoa. Ilman kuivauksesta aiheutuvia päästöjä oletusarvo ylittyisi vain niukasti. Tämä edellyttäisi sadon täydellistä onnistumista hyvin pienillä panoksilla. Käytännössä tällainen tilanne olisi kuitenkin hyvin epätodennäköinen. Myös N₂O-päästöt ovat todennäköisesti suuremmat kuin parhaan tapauksen laskennassa on oletettu, koska vertailumaankäyttö on vähennetty, vaikka IPCC:n kertoimet huomioivat vain lisätystä tyypestä ja kasvitähteistä aiheutuvat päästöt.



Kuva 1. Ohran viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

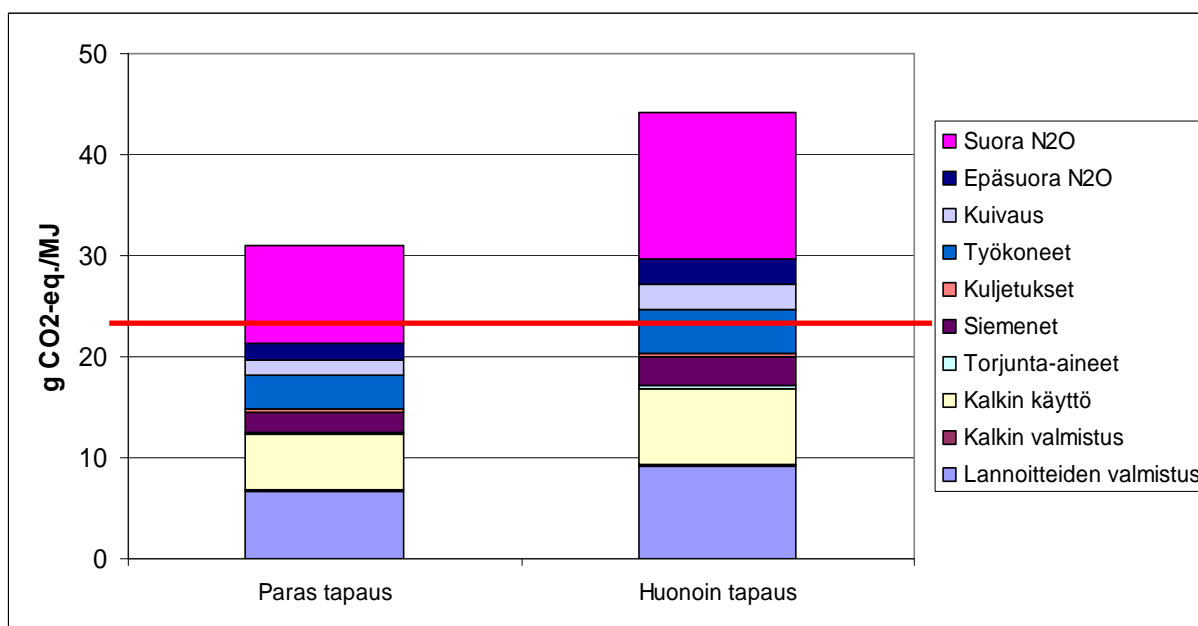
Taulukossa 6 on esitetty ohran viljelystä aiheutuvat päästöt NUTS 2 -alueittain. Kalkin käytöstä ja kuivauksesta aiheutuvat päästöt on merkitty taulukkoon erikseen vertailun vuoksi, koska direktiivin oletusarvojen laskennassa ei vehnällä ollut kalkkia ja kuivausta mukana. Ohran viljelystä aiheutuvat päästöt ovat kaikilla alueilla suuremmat kuin vehnän viljelyn oletusarvo (23 g CO₂-ekv./MJ). Mikäli kalkin käytöstä ja kuivauksesta aiheutuvia päästöjä ei otettaisi huomioon, niin silloin Ahvenanmaalla olisi hyvillä satoluvuilla mahdollista päästä alle oletusarvon.

Taulukko 6. Ohran viljelyn päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ etanolia) NUTS 2 -alueittain.

	Itä-Suomi	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi	Pohjois-Suomi	Ahvenanmaa
Lannoitteiden valmistus	7,18	5,83	5,98	8,25	4,86
Torjunta-aineiden valmistus	0,29	0,24	0,24	0,33	0,20
Siemenet	2,60	2,21	2,26	3,23	1,90
Kuljetukset	0,29	0,24	0,24	0,33	0,20
Työkoneet	5,79	4,70	4,82	6,65	3,92
Suorat N ₂ O-päästöt	11,39	10,29	10,48	13,27	9,10
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,88	1,53	1,57	2,16	1,27
Yhteensä	29,43	25,02	25,60	34,23	21,45
Kalkin valmistus ja käyttö	8,60	6,98	7,17	9,88	5,82
Yhteensä	38,03	32,01	32,76	44,11	27,27
Kuivaus	1,73	1,73	1,73	1,73	1,73
Yhteensä	39,75	33,73	34,49	45,84	29,00

3.2 Vehnäetanoli

Kuvassa 2 on esitetty vehnän viljelystä aiheutuvat päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa. Vehnän viljelyn päästöt ovat parhaassakin tapauksessa huomattavasti korkeammat kuin direktiivin oletusarvo. Edes kalkin ja kuivauksen jättäminen pois ei riitä alentamaan päästöjä oletusarvon alle.



Kuva 2. Vehnän viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

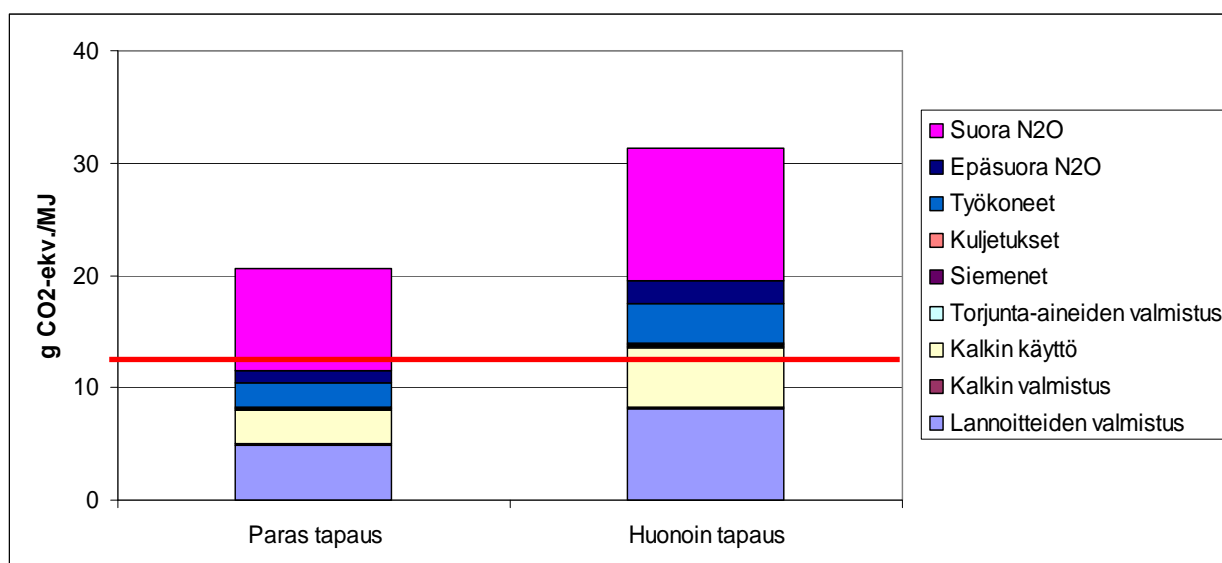
Taulukossa 7 on esitetty vehnän viljelyn päästöt NUTS 2 -alueittain. Direktiivin oletusarvojen laskennassa ei vehnän osalta ollut mukana kalkin käyttöä, mutta muilla kasveilla kalkkia oli käytetty pieniä määriä. Suomessa täytyy kalkkia käyttää myös vehnäpelloilla kasvukunnon ylläpitämiseksi (ks. luku 2.4). Millään alueella Suomessa ei päästä alle direktiivin oletusarvon (23 g CO₂-ekv./MJ etanolia) (taulukko 7). Oletusarvoa ei ole mahdollista alittaa edes jättämällä kalkin käyttö ja kuivaus pois laskuista.

Taulukko 7. Vehnän viljelyn päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ etanolia) NUTS 2 -alueittain.

	Itä-Suomi	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi	Pohjois-Suomi	Ahvenanmaa
Lannoitteiden valmistus	8,71	7,03	7,21	8,43	7,37
Torjunta-aineiden valmistus	0,25	0,20	0,21	0,24	0,21
Siemenet	2,85	2,33	2,38	2,72	2,55
Kuljetukset	0,29	0,23	0,24	0,27	0,24
Työkoneet	5,06	3,97	4,07	4,76	4,16
Suorat N ₂ O-päästöt	14,75	12,37	12,59	15,09	12,79
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	2,58	2,03	2,08	2,43	2,13
Yhteensä	34,51	28,16	28,77	32,94	29,45
Kalkin valmistus ja käyttö	7,51	5,90	6,05	7,07	6,18
Yhteensä	42,02	34,06	34,82	40,00	35,64
Kuivaus	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
Yhteensä	43,55	35,59	36,36	41,54	37,17

3.3 Sokerijuurikasetanoli

Kuvassa 3 on esitetty sokerijuurikkaan viljelystä aiheutuvat päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa. Taulukossa 8 on esitetty sokerijuurikkaan viljelystä aiheutuvat päästöt NUTS 2 -alueittain. Sokerijuurikasta ei viljellä Itä- ja Pohjois-Suomessa. Sokerijuurikkaan viljelystä aiheutuvat päästöt ylittävät direktiivissä annetun oletusarvon reilusti, koska satotasot ovat Suomessa niin paljon pienemmät kuin muualla Euroopassa. Direktiivin arvojen laskennan taustalla oleva sokerijuurikassato on 68 860 kg/ha, kun Suomessa sadot ovat yleensä alle 40 000 kg/ha.



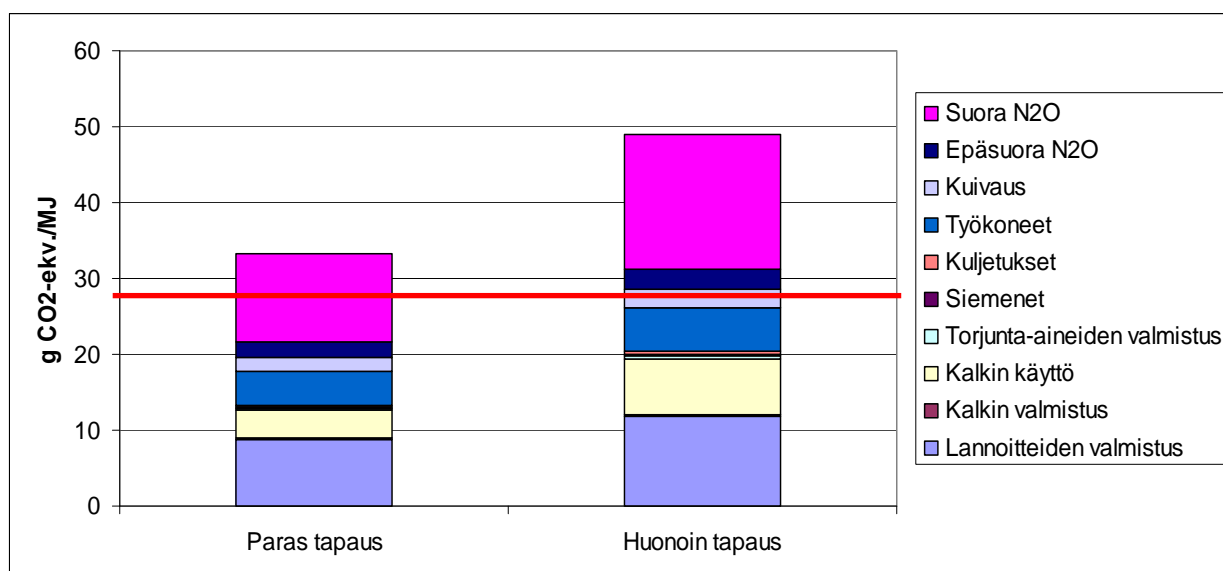
Kuva 3. Sokerijuurikkaan viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

Taulukko 8. Sokerijuurikkaan viljelyn päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ biodieseliä) NUTS 2 -alueittain. Sokerijuurikkaasta ei viljellä Itä- ja Pohjois-Suomessa.

	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi	Ahvenanmaa
Lannoitteiden valmistus	4,88	6,17	5,99
Kalkin valmistus ja käyttö	3,66	3,91	3,80
Torjunta-aineiden valmistus	0,13	0,14	0,13
Siemenet	0,03	0,04	0,04
Kuljetukset	0,15	0,16	0,16
Työkoneet	2,83	3,02	2,93
Suorat N ₂ O-päästöt	11,59	12,05	11,83
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,52	1,62	1,57
Yhteensä	24,80	27,11	26,43

3.4 Rypsi- ja rapsibiodiesel

Kuvassa 4 on esitetty rypsin ja rapsin viljelystä aiheutuvat päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa. Päästöt ylittävät parhaimmassakin tapauksessa direktiivin asettaman oletusarvon. Myös ilman kuivausta oletusarvo ylittyy parhaassakin tapauksessa.



Kuva 4. Rypsin ja rapsin viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

Taulukossa 9 on esitetty rapsin viljelyn päästöt ja taulukossa 10 rypsin viljelyn päästöt NUTS 2 -alueittain. Rapsia ei tällä hetkellä viljellä Itä- ja Pohjois-Suomessa eikä Ahvenanmaalla. Rypsiä ei ole viljelty Ahvenanmaalla kuin vuonna 2008 ja silloinkin viljelyala oli hyvin pieni. Taulukosta 9 nähdään, että rapsin viljelystä aiheutuvat päästöt ovat korkeammat kuin direktiivin oletusarvo rapsin viljelylle (29 g CO₂-ekv./MJ). Edes jättämällä kuivaus pois laskuista, ei olisi mahdollista alittaa oletusarvoa millään alueella Suomessa. Rypsin viljelystä aiheutuvat päästöt ovat hieman korkeammat kuin rapsin (taulukko 10), koska rypsin satotasot ovat alhaisemmat ja viljely muuten vastaavaa, joten myöskään rypsilä ei päästä alle direktiivin oletusarvon.

Taulukko 9. Rapsin viljelyn päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ biodieseliä) NUTS 2 -alueittain. Rapsia ei viljellä Itä- ja Pohjois-Suomessa eikä Ahvenanmaalla.

	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi
Lannoitteiden valmistus	8,14	8,86
Kalkin valmistus ja käyttö	3,46	3,76
Torjunta-aineiden valmistus	0,23	0,25
Siemenet	0,17	0,19
Kuljetukset	0,18	0,19
Työkoneet	4,60	5,00
Suorat N ₂ O-päästöt	14,23	15,11
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	2,13	2,32
Yhteensä	33,14	35,70
Kuivaus	1,92	1,92
Yhteensä	35,06	37,62

Taulukko 10. Rapsin viljelyn päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ biodieseliä) NUTS 2 -alueittain. Rypsiä ei viljellä Ahvenanmaalla.

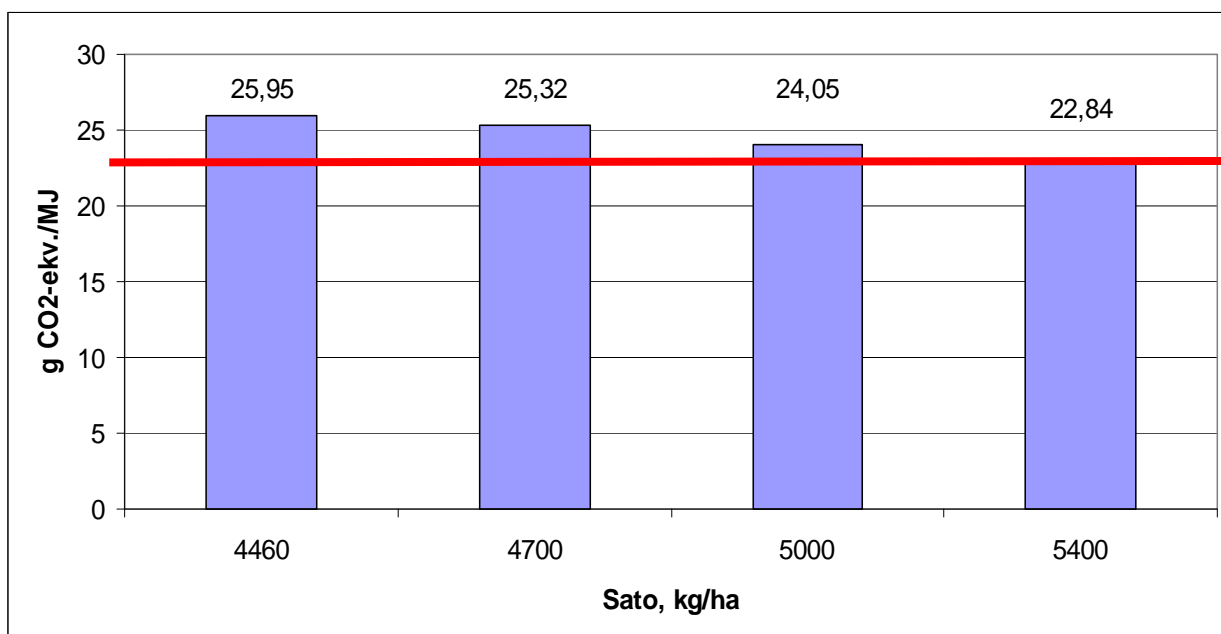
	Itä-Suomi	Etelä-Suomi	Länsi-Suomi	Pohjois-Suomi
Lannoitteiden valmistus	14,37	9,39	9,87	9,52
Kalkin valmistus ja käyttö	6,10	3,98	4,18	4,04
Torjunta-aineiden valmistus	0,41	0,27	0,28	0,27
Siemenet	0,28	0,20	0,21	0,20
Kuljetukset	0,31	0,20	0,21	0,21
Työkoneet	8,11	5,30	5,57	5,38
Suorat N ₂ O-päästöt	21,99	15,84	16,44	16,01
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	3,77	2,46	2,59	2,50
Yhteensä	55,35	37,65	39,35	38,13
Kuivaus	1,96	1,96	1,96	1,96
Yhteensä	57,31	39,61	41,31	40,09

3.5 Herkkyystarkastelut

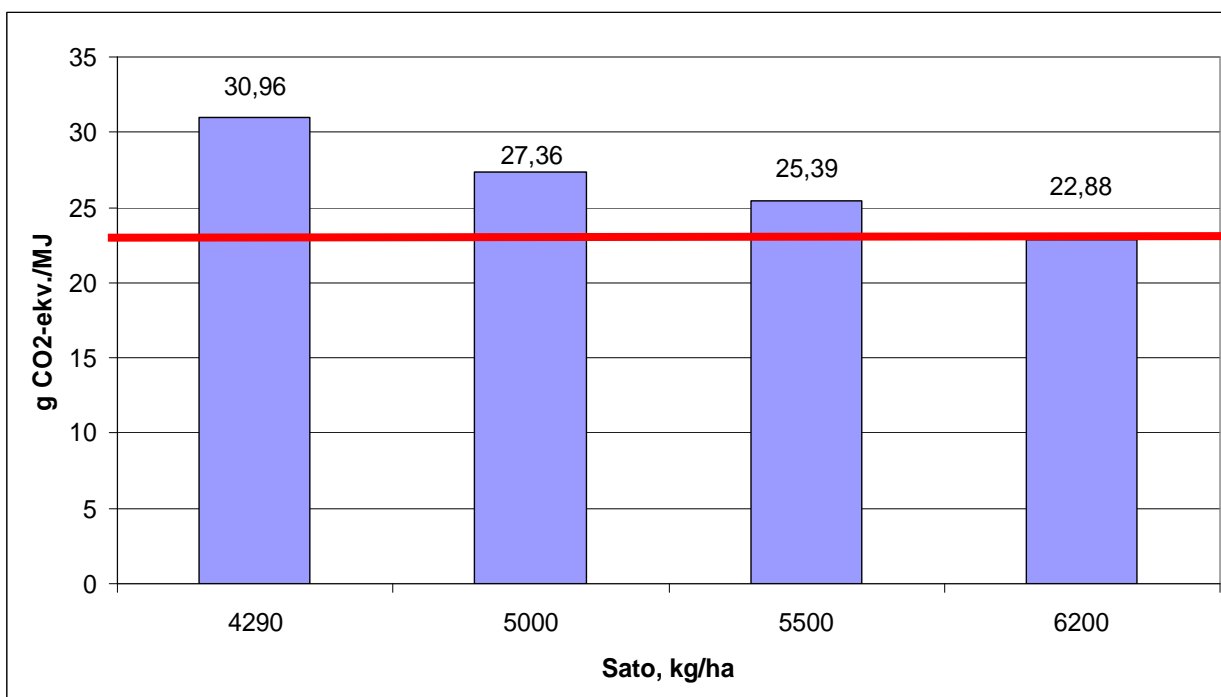
Herkkyystarkasteluissa tarkasteltiin eri tekijöiden vaikutusta päästöihin ja yritettiin löytää edellytyksiä, joilla myös Suomen oloissa voitaisiin päästä alle direktiivin asettamien oletusarvojen. Herkkyystarkasteluiden pohjana on parhaan vaihtoehdon skenaario.

3.5.1 Viljelykasvien sato

Seuraavassa on esitetty sadon vaikutus viljelyn päästöihin. Oletuksena on, että suurempi sato saadaan samalla lannoitusmäärällä kuin perustapauksessa, vaikka todellisuudessa suurempia satoja varten tarvitsee yleensä käyttää myös enemmän lannoitetta. Kasvitähteiden määrän on oletettu kasvavan sadon lisäyksen suhteessa. Kuvissa 5-8 on esitetty eri kasvien osalta sadon lisäyksen vaikutus päästöihin.



Kuva 5. Sadon vaikutus ohran viljelyn päästöihin.

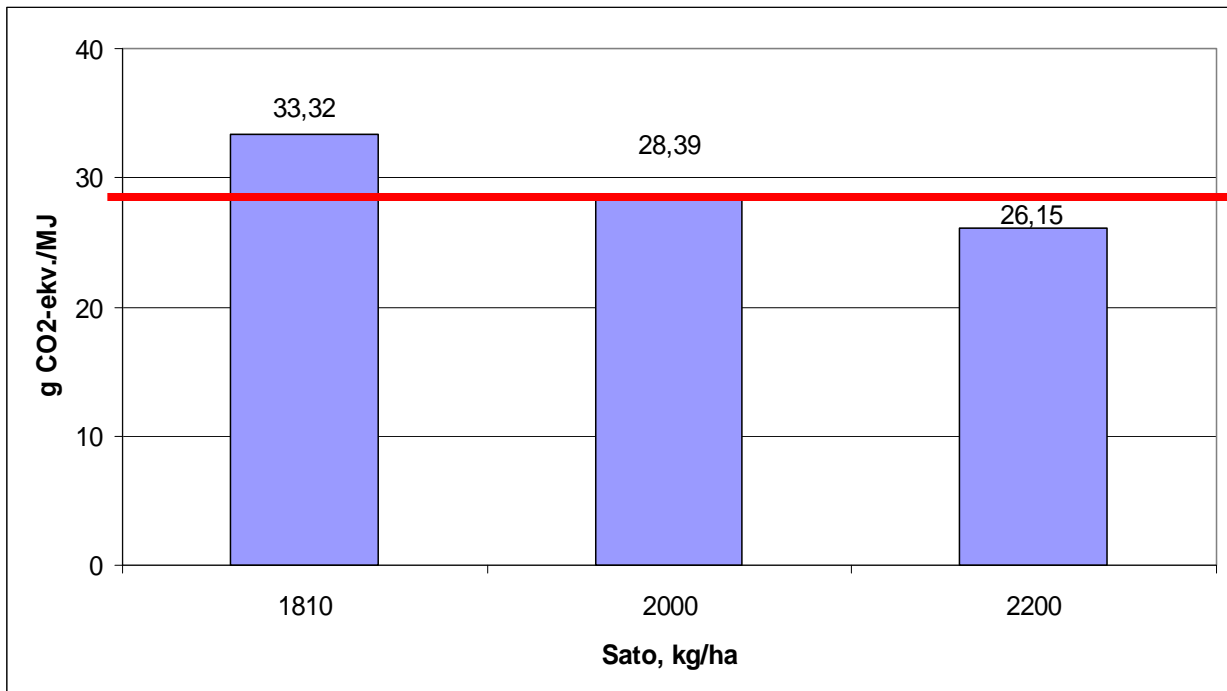


Kuva 6. Sadon vaikutus vehnän viljelyn päästöihin.

Mikäli ohran oletusarvo olisi sama kuin vehnällä, eli 23 g CO₂-ekvivalenttia per MJ etanolia, olisi ohralla mahdollista alittaa direktiivin arvo sadon ollessa 5400 kg/ha (kuva 5). Vehnällä puolestaan olisi sadon oltava 6200 kg/ha, jotta päästäisiin alle direktiivin arvon (kuva 6). Lajikekokeiden mukaan syysvehnällä olisi Etelä-Suomessa mahdollista päästä yli 6000 kg/ha satoihin, mutta samalla myös typpilannoitteen käyttö on tällöin ollut huomattavasti tässä tehtyjä laskelmia runsaampaa (135-170 kg/ha). Syysvehnän satojen keskiarvo on ollut 5000-5700 kg/ha vuosina 2001-2008. Kevätvehnän keskisato on puolestaan lajikekokeiden mukaan ollut noin 5000 kg/ha, joinakin vuosina sato on voinut olla myös yli 5500 kg/ha. Myös kevätvehnällä on tällöin ollut suurempi typpilannoitus kuin tässä tehdyissä laskelmissa. (Kangas ym. 2008) Lajikekoesadot ovat kuitenkin hyvin optimistisia, joihin on päästy parhailla mahdollisilla viljelytoimenpiteillä.

Suomessa viljellään tällä hetkellä pääasiassa vain leipävehnää, mutta viljeltäessä vehnää etanolin raaka-aineeksi, olisi JEC:n (2007) raportin mukaan mahdollista saavuttaa 13,5 % korkeampi sato kuin leipävehnän viljelyssä samalla lannoitemäärällä. Ympäristötuen tukiehdot rajoittavat typpilannoituksen käyttöä,

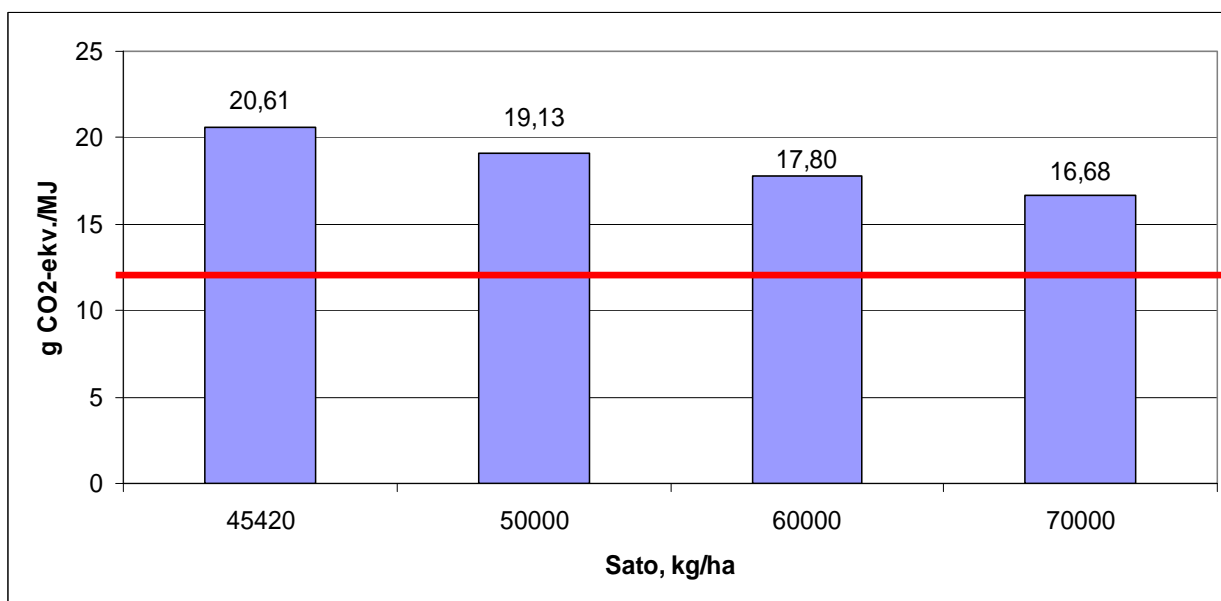
jolloin leipävehnän viljelijät pakotetaan jäämään alhaisiin satoihin. Ammattilaiset voisivat Suomen oloissa saada hyvin tuotettua yli 6000 kg/ha satoja, mutta tällöin vehnän valkuaispitoisuus olisi liian alhainen leivontaan (Peltonen 2010), mutta soveltuisi paremmin etanolin raaka-aineeksi. Luvussa 5 on tarkasteltu tulevaisuuden mahdollisuuksia etanoliviljan viljelyyn ja siitä aiheutuvia päästöjä.



Kuva 7. Sadon vaikutus rypsin ja rapsin viljelyn päästöihin.

Rypsin ja rapsin viljelyn päästöissä päästäisiin alle direktiivin arvojen, jos sadot olisivat yli 2000 kg/ha (kuva 7). Lajikekokeiden mukaan rypsilajilla on päästy vuonna 2008 yli 2600 kg/ha satoihin (Kangas ym. 2008). Rypsin sadonmuodostuksessa ilmasto-oloilla on tärkeä merkitys. Vaikka uusilla rypsilajikkeilla on parempi satopotentiaali kuin vahoilla, ne ovat olleet alttiimpia epäedullisille ilmasto-oloille kuin vanhat lajikkeet (Peltonen-Sainio ym. 2007). Uudet hyvän satopotentiaalisen lajikkeet ovat olleet herkkiä etenkin kukinnan ja siemenen täyttämisen aikaiselle korkealle lämpötilalle (Peltonen-Sainio ym. 2007). Vaikka muutamana viime vuotena olo näyttävät olleen suotuisia juuri näiden parhaiden lajikkeiden viljelylle, tulevaisuudessa on odotettavissa yhä enemmän kohonneita lämpötiloja, jotka saattavat osua rypsin kukinnan aikaan. Rypsistä poiketen rapsi näyttäisi hyötyvän korkeammista lämpötiloista. Rapsia ei kuitenkaan viljellä kovin paljon tällä hetkellä Suomessa. Ilmaston muuttuessa lämpimämmäksi sen viljely tulee kuitenkin mitä todennäköisimmin syrjäyttämään rypsin viljelyn kokonaan (Peltonen-Sainio ym. 2009a). Rapsilla on vuonna 2008 päästy lajikekokeissa jopa yli 3000 kg/ha satoihin, keskisadon ollessa 2877 kg/ha, ja sen sadot ovat selvästi nousseet vuodesta 2005 vuoteen 2008 (Kangas ym. 2008). Käytännön peltoviljelyssä saadaan aina hiukan pienempiä satoja kuin lajikekokeissa, mutta muuten käytännön viljely seuraa melko hyvin lajikekokeissa saatuja satotrendejä (Peltonen-Sainio ym. 2007).

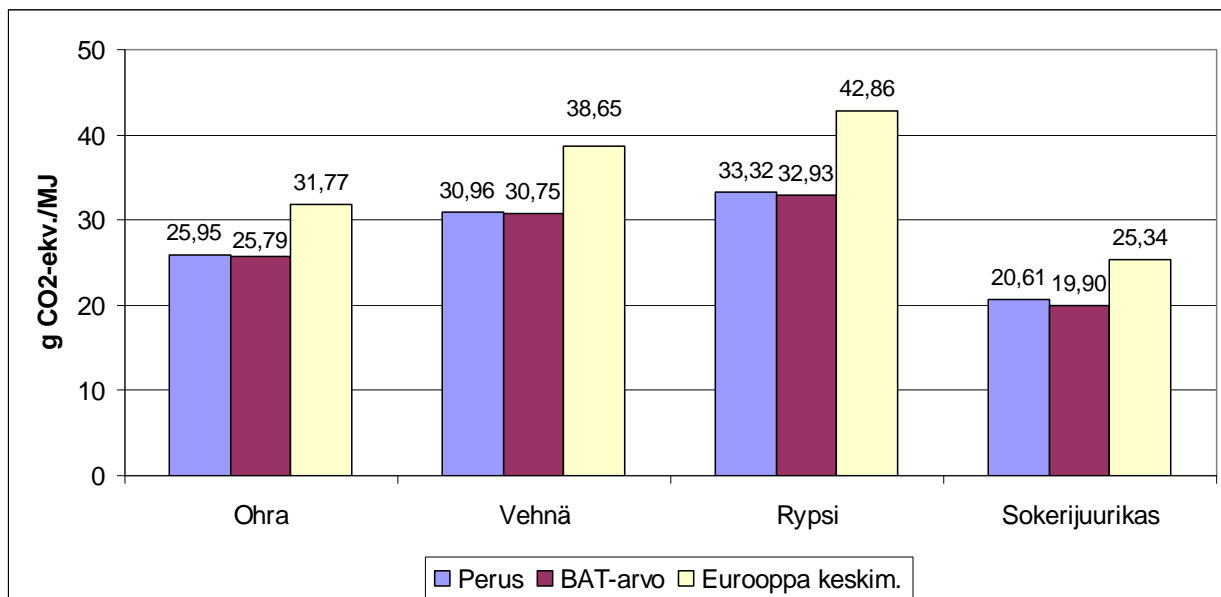
Sokerijuurikkaan viljelystä aiheutuvat päästöt ovat huomattavasti suuremmat kuin direktiivin oletusarvo (kuva 8). Suurin syy tähän on sokerijuurikkaan pienet sadot Suomessa. Sokerijuurikkaalla onkin melko mahdotonta saavuttaa Suomessa riittävän suurien satojen, joilla voitaisiin päästä alle direktiivin asettaman oletusarvon.



Kuva 8. Sadon vaikutus sokerijuurikkaan viljelyn päästöihin.

3.5.2 Lannoitteiden valmistuksen päästöt

Kuvassa 9 on verrattu lannoitteiden valmistuksesta aiheutuvien päästöjen vaikutusta viljelyn päästöihin. Vertailussa ovat päästöt perustapauksessa, Euroopassa käytössä olevan BAT-arvon⁴ mukaiset päästöt (3,6 kg CO₂-ekv./kg N, kun energianlähteenä on maakaasu) ja Euroopan keskimääräisten lannoitteiden valmistuksen mukaiset päästöt ilman katalyyttistä typen poistoa ja maakaasun ollessa energianlähteenä (7,8 kg CO₂-ekv./kg N) (Yara 2010c).



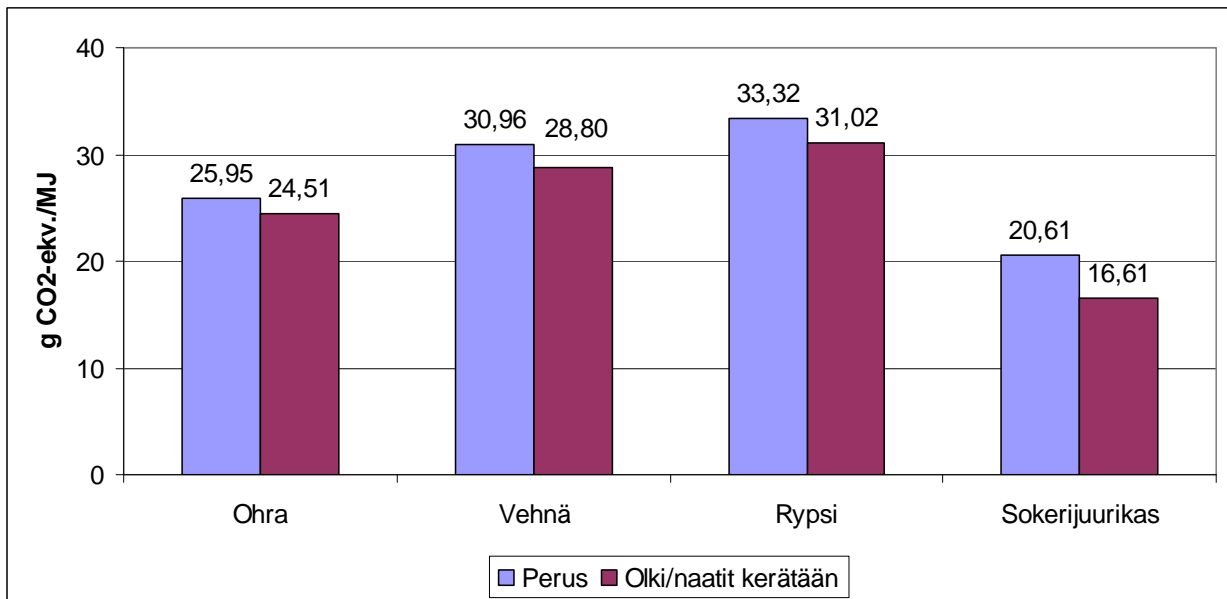
Kuva 9. Lannoitteiden valmistuksen päästöjen vaikutus viljelyn päästöihin.

Lannoitteiden valmistuksesta aiheutuvat päästöt ovat kuvan 9 mukaan merkittävä tekijä viljelyn päästöissä. Yaran Suomen tehtailla lannoitteiden valmistuksen päästöt ovat jo hyvin lähellä Euroopan BAT-arvoa, jonka vuoksi BAT-arvoilla laskettuna päästöt eivät ole kovin paljon pienemmät. Euroopan keskimääräisillä lannoitteiden valmistuksen päästöillä viljelystä aiheutuvat päästöt ovat todella paljon suuremmat kuin perustapauksessa. Suomeenkin tuodaan jonkin verran lannoitteita ulkomailta, jolloin Yaran arvojen käyttäminen ei anna oikeaa tulosta.

⁴ BAT = Best Available Techniques eli paras käytettävissä oleva tekniikka

3.5.3 Olkien ja sokerijuurikkaan naattien poistaminen pellolta

Olkien ja sokerijuurikkaan naattien jättäminen peltoon parantaa maan rakennetta ja veden imeytymistä maahan. Lisäksi kasvintähteet lisäävät maan orgaanista hiiltä, joka on ratkaiseva tekijä maan viljavuuden kannalta (Pahkala ym. 2009). Toisaalta kasvintähteiden jättäminen peltoon aiheuttaa N₂O-päästöjä. Olkia käytetään hieman eläinten kuivikkeena, jolloin osa niistä korjataan pois pellolta. Olkia voidaan käyttää myös energian tuotantoon. Sokerijuurikkaan naatteja käytetään jonkin verran eläinten rehuna ja niitä voitaisiin myös mädättää biokaasun raaka-aineeksi. Tässä tarkastelussa oletetaan, että kaikki oljet kerätään pellolta, lukuun ottamatta maanalaista juuribiomassaa ja sänkenä maahan jäävää osuutta (27 % maanpäällisestä korsibiomassasta (Pahkala ym. 2009)). Sokerijuurikkaan naattien osalta oletetaan, että 95 % saadaan kerättyä. Laskennassa ei ole huomioitu olkien ja naattien keräämisestä aiheutuvia työkoneiden päästöjen.



Kuva 10. Olkien ja naattien keräämisen vaikutus viljelyn päästöihin.

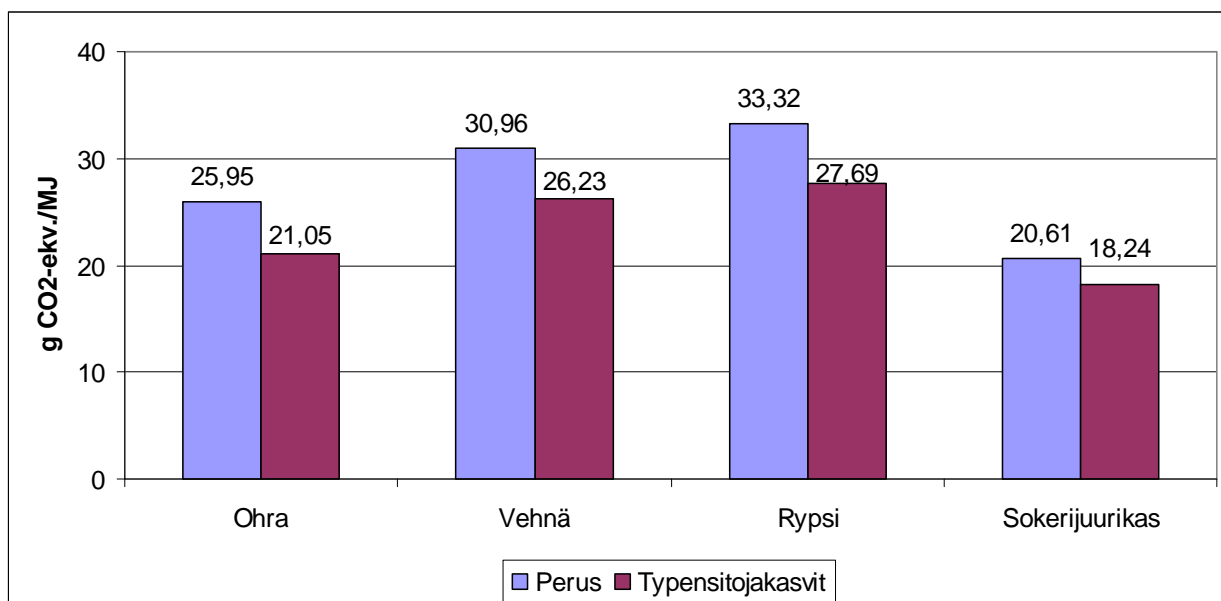
Kuvasta 10 nähdään, että kasvintähteiden kerääminen ei yksinään auta pääsemään alle direktiivin arvojen. Kasvintähteiden kerääminen saattaa myös johtaa lisääntyneeseen lannoitustarpeeseen, joka puolestaan nostaisi päästöjä (JEC 2007).

3.5.4 Typensitojakasvien viljely

Typensitojakasvit pystyvät sitomaan ilmakehän typpeä juurinystyräbakteeriensa avulla, jolloin typpilannoituksen tarve vähenee. Typensitojakasvien lannoitevaikutus vaihtelee ajasta, paikasta, maalajista, viljelytoimista ja säästä riippuen. Kanadalaisessa tutkimuksessa pelkästään viljelemällä puna-apilaa aluskasvina ja muokkaamalla se maahan syksyllä olisi keväällä kylvettävästä vehnästä saatu sama sato kuin 80 kg mineraalityppilannoituksella (Garand ym. 2001). Suomalaisessa aluskasvitutkimuksessa (Känkänen & Eriksson 2007) valko- ja puna-apilaan oli sitoutunut myöhään syksyllä noin 30 kg typpeä/ha tai jopa yli 60 kg typpeä/ha, jos juurten sisältämä typpimäärä otetaan huomioon (päätelty muista tämän kokeen tuloksista). Aluskasvin biomassaan jäänyt typpi vapautuu ilmasto-oloista riippuen eri nopeuksilla ja tehoilla seuraavalla kasvukaudella viljeltävien kasvien käyttöön. Kasvuoloista riippuen Suomessa voitaisiin odottaa noin 30-70 kg typpilisää käytettäessä typensitojakasvia aluskasvina. Aluskasvi tosin voi myös epäonnistua kokonaan, jolloin typpihyöty on nolla. Jos typensitojakasvia kasvatetaan viljelykierrossa kasvustona ja sitten kynnetään maahan, typpilistä voi seuraavalle kasville olla yli 100 kg/ha (Känkänen ym. 1998, Eriksson 2001). Tällöin tosin menetetään viljaetanolisato niiltä vuosilta, jolloin viljelykierrossa on nurmikasveja.

Nyt tehdyssä laskelmassa on oletuksena, että typensitojakasvi tuottaisi 50 kg/ha typpeä peltoon, jolloin loppu typpimäärä tulisi väkilannoitteista (ohralla 20 kg/ha, vehnällä ja rypsilä 50 kg/ha, sokerijuurikkaalla 80 kg/ha). Myös typensitojakasvien sisältämä typpi voi aiheuttaa huuhtoumia, mutta ne on jätetty tästä tarkastelusta pois epävarmuutensa vuoksi. Laskelmassa ei myöskään ole huomioitu typensitojakasvien

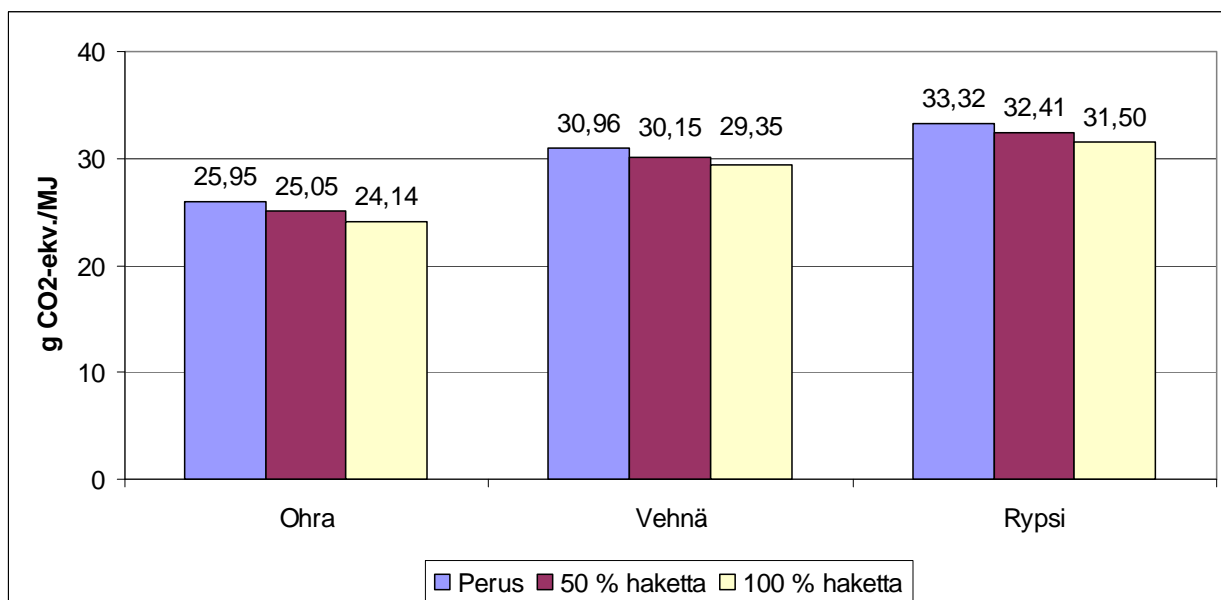
siemenien tuotannosta aiheuttamia päästöjä. Kuvasta 11 nähdään, että ohran ja rypsin viljelyssä voitaisiin päästä alle direktiivin arvojen viljelemällä typensitojakasveja aluskasvina.



Kuva 11. Typensitojakasvien käytön vaikutukset viljelyn päästöihin.

3.5.5 Bioenergian käyttäminen kuivauksessa

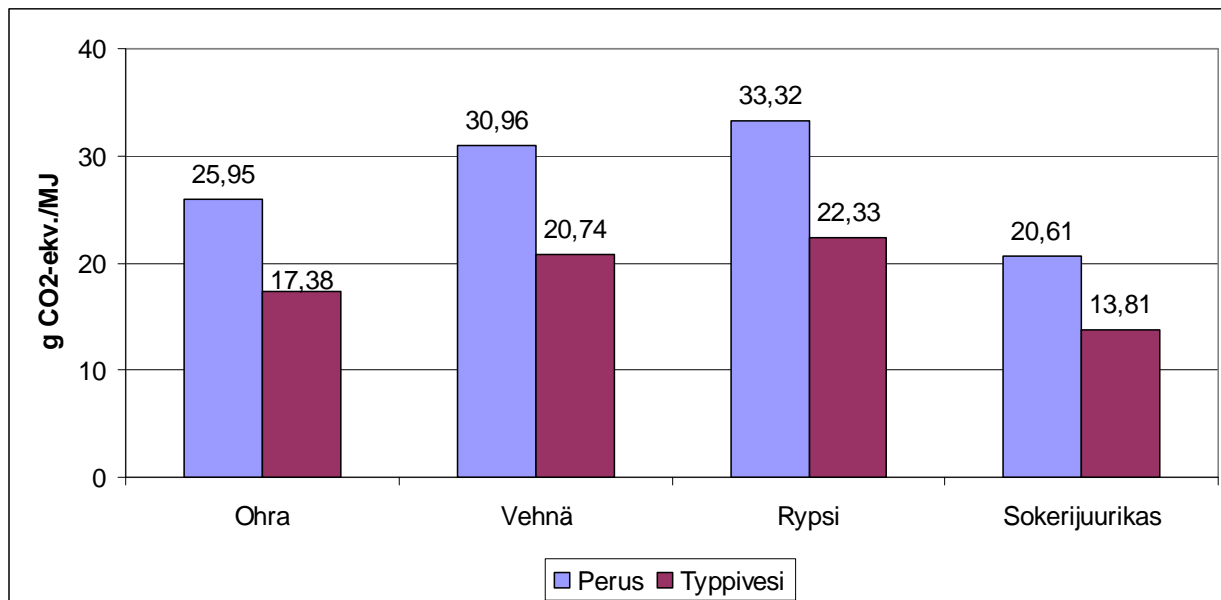
Viljojen ja öljykasvien kuivaus tapahtuu yleisimmin öljyllä, mutta myös haketta tai bioöljyä on mahdollista käyttää kuivauksen energianlähteenä. Tulevaisuudessa näiden biopohjaisten energiamuotojen käytön voidaan myös olettaa yleistyvän kuivauksen energianlähteenä. Tässä on verrattu perustapauksen päästöjä tilanteeseen, jossa kuivauksessa käytettävästä energiasta 50 % tai 100 % tuotettaisiin hakkeella (kuva 12). Hakkeen valmistuksessa kuluvan polttoaineen määrä on arvioitu Tuukkasen (2007) mukaan. Kuvasta 12 nähdään, että siirtyminen öljystä kokonaan hakkeeseen ei auttaisi pääsemään alle direktiivin oletusarvojen.



Kuva 12. Kuivauksessa käytettävän energian vaikutus viljelyn päästöihin.

3.5.6 Biokaasulaitoksen typpiveden käyttäminen väkilannoitteiden sijaan

Paavola ym. (2010) ovat tutkineet biokaasulaitoksen mädätysjäätännöksestä jalostetun kuivajakeen, vesijakeen ja vesijakeesta jalostetun typpiveden käyttöä ohran ja vehnän lannoitteena väkilannoitteiden sijaan. Laskennan tuloksena oli, että käyttämällä typpivettä väkilannoitteiden sijaan, olisivat viljelyn päästöt noin 33 % pienemmät kuin väkilannoitteiden käytöllä. Kuivajakeen käytön päästöt olisivat hieman suuremmat ja nestejakeen lähes yhtä suuret kuin väkilannoitteiden käytön. Laskennassa oletettiin, että biokaasulaitoksella valmistettujen lannoitevalmisteiden valmistusprosessin kasvihuonekaasutase on nolla. Kuvassa 13 on esitetty viljelyn päästöt, jos lannoitteena käytettäisiin typpivettä väkilannoitteiden sijaan, jolloin viljojen ja rypsin viljelyssä päästäisiin alle direktiivin oletusarvon ja sokerijuurikkaallakin melko lähelle.



Kuva 13. Typpiveden lannoitekäytön vaikutus viljelyn päästöihin.

4 Vertailua muihin vastaaviin tutkimuksiin

Direktiivissä annetut kasvihuonekaasupäästöjen tyypilliset arvot ja oletusarvot perustuvat JRC:n, EUCAR:n ja CONCAWE:n raporttiin (JEC 2007) tietyin poikkeuksin, joiden avulla raportin tiedot on muutettu vastaamaan direktiivin laskentakaavaa. Esimerkiksi JEC:n (2007) raportissa rapsin puristuksen sivutuotteena syntyvän rouheen on oletettu korvaavan soijarehun käyttöä, ja sille on näin ollen laskettu substituuhtiohyöty. RES-direktiivin mukaiseen laskentaan on vaihdettu fysikaalinen allokointi (allokointi pää- ja sivutuotteen alemman lämpöarvon mukaan). Tarkat oletusarvojen laskennassa käytetyt arvot löytyvät JRC:n [www-sivuilta](#)⁵. Oletusarvoja ja niiden laskentaperusteita tullaan päivittämään, kun saadaan parempaa tietoa prosesseista ja tekniikan kehittyessä. Tässä luvussa verrataan oletusarvojen laskennan ja Ruotsissa tehdyn vastaavan tutkimuksen (Ahlgren ym. 2009) lähtöarvoja, laskentatapoja ja oletuksia tässä tutkimuksessa käytettyihin lähtöarvoihin ja oletuksiin.

4.1 Satotasot

Direktiivin lähtöarvojen laskennassa satotasot perustuvat EU-25 -alueen oletettuihin satoihin vuonna 2012. Satojen oletettiin olevan 13,5 % korkeammat kuin alkuperäisen lähdeaineiston sadot, koska alkupe-
räinen EU-mix sisältää 43 % leipävehnää ja 57 % rehuvehnää, ja alhaisen proteiinipitoisuuden vehnällä on mahdollista saada parempi sato samalla lannoitusmäärällä. Lähtöarvojen laskennassa käytetyt sadot ovat:

- vehnällä 5200 kg/ha
- rapsilla 3113 kg/ha
- sokerijuurikkaalla 68 860 kg/ha.

Ruotsissa tehdysssä vastaavassa tutkimuksessa sadot oli laskettu vuosien 2002-2007 satojen keskiarvoista lisäämällä tähän keskiarvoon oletettu satotasojen nousu. Satotasot olivat

- vehnällä 5000 - 7500 kg/ha
- ohralla 2200 - 5200 kg/ha
- rapsilla 2700 - 3400 kg/ha.

Omassa tutkimuksessamme päädyttiin käyttämään vuoden 2009 alueellisia keskisatoja, koska ne olivat uusimmat ja vuosi 2009 oli hyvä satovuosi. Direktiivin oletusarvoissa käytetyt satotasot ovat kuitenkin huomattavasti suuremmat kuin Suomen satotasot, vaikka käytettiin hyvän satovuoden satoja. Myös Ruotsissa päästään lähes kaikilla viljelyalueilla, lukuun ottamatta pohjoisinta Ruotsia, parempiin satoihin kuin Suomessa.

4.2 Lannoitteiden ja kalkin käyttö

Typpilannoitteen käyttömääriä on vertailtu taulukossa 11. Ruotsin tutkimuksessa lannoitusmäärät perustuvat tilastoihin ja puhelinhaastatteluihin. Tässä tutkimuksessa lannoitusmäärät perustuivat suosituksiin. Taulukosta 11 nähdään, että Ruotsin tutkimuksessa typpilannoitteen käyttö on vehnällä ja rapsilla runsaampaa kuin direktiivin lähtöarvojen laskennassa käytetyt. Omassa tutkimuksessamme käytetyt lannoitusmäärät ovat vehnän osalta samaa luokkaa, rypsilä ja rapsilla hieman alhaisemmat ja sokerijuurikkaalla hieman korkeammat kuin direktiivin oletusarvojen laskennassa.

⁵ http://re.jrc.ec.europa.eu/biof/html/input_data_ghg.htm

Taulukko 11. Typpilannoitteen käyttömäärät (kg/ha) eri tutkimuksissa.

	Direktiivin läh- töarvot	Ruotsin tutkimus	Paras tapaus Suomi	Huonoin tapaus Suomi
Vehnä	109,3	140-165	100	110
Rypsi/rapsi	137,4	160-173	100	110
Sokerijuurikas	119	-	130	140
Ohra	-	77-109	70	90

Direktiivin oletusarvojen laskennassa kalkki oli mukana joidenkin kasvien osalta, ja käyttömäärät olivat rapsilla 19 kg/ha ja sokerijuurikkaalla 400 kg/ha. Vehnällä kalkkia ei siis ollut mukana. Ruotsin tutkimuksessa kalkki ei ollut mukana, eikä siitä ollut myöskään mitään mainintaa miksi se ei ole mukana. Omassa tutkimuksessamme kalkin käyttömäärät olivat vehnälle ja ohralle 685 kg/ha, rypsille ja rapsille 346,6 kg/ha, ja sokerijuurikkaalle 673 kg/ha.

4.3 Maaperän N₂O-päästöt

Direktiivin lähtöarvoissa N₂O-päästöjen ei oletettu riippuvan lisätyn typen määrästä, kuten IPCC:n kertoimilla laskettaessa, vaan suorat N₂O-päästöt oli laskettu DNDC-mallilla (JEC 2007). Koska malli ottaa huomioon myös taustapäästöt ja lannoittamattomiltakin mailta oli mitattu N₂O-päästöjä, oli suorista N₂O-päästöistä vähennetty referenssimaankäytön aiheuttamat päästöt. Referenssimaana oli nurmi. Epäsuorat N₂O-päästöt oli laskettu IPCC:n kertoimilla. JEC (2007) raportissa oletettiin osa oljesta korjattavan pois pellolta, joka vähentää hieman kasvitähteistä aiheutuvia N₂O-päästöjä. Tätä oli kuitenkin kompensoitu suuremmalla typpilannoituksella. Ruotsin tutkimuksessa suorat N₂O-päästöt oli laskettu IPCC 2006 kertoimilla ja epäsuorat omilla kertoimilla. Molemmista oli vähennetty referenssimaankäytön päästöt (grassland). Omassa tutkimuksessamme käytettiin IPCC 2006 kertoimia sekä suoriin että epäsuoriin N₂O-päästöihin. Vertailumaankäyttönä oli nurmikesanto, jonka päästöt vähennettiin parhaassa tapauksessa, mutta ei NUTS 2-tason laskennassa.

4.4 Kuivaus

Direktiivin lähtöarvoissa ei ole mukana viljojen eikä rapsin kuivausta. Ruotsin tutkimuksessa kuivaus on mukana kuten myös tässä tutkimuksessa, koska elinkaarilaskelmissa kuivaus on yleensä laskettu osaksi viljan korjuuta. Kuivaus tapahtuu pääasiassa fossiilisilla polttoaineilla, mutta Ruotsin tutkimuksessa oli oletuksena, että 25 % kuivauksesta tapahtuu bioenergialla. Omassa tutkimuksessamme kuivauksen oletettiin tapahtuvan kokonaan öljyllä. Herkkyystarkasteluissa tarkasteltiin bioenergian eli hakkeen käyttämistä kuivauksessa.

5 Tulevaisuuden mahdollisuudet päästöjen vähentämiseksi Suomessa

Liikennepolttoaineena käytettävän etanolin raaka-aineeksi voitaisiin Suomessa teoriassa viljellä nykyisin peltoviljelyssä olevia kevät- ja syysvehnää sekä ohraa. Tulevaisuudessa lajikkeiden kehittyessä ja talvehtimisolojen parantuessa ilmastonmuutoksen myötä myös ruisvehnää (triticale) voitaisiin viljellä biopolttoaineen raaka-aineeksi. Pellolla tuotettavan raaka-aineen tulisi olla sellaista, jonka kasvattaminen ja prosessointi synnyttävät vain vähän päästöjä. Jos etanolia tehdään viljojen jyivistä, niiden valkuaispitoisuuden olisi oltava matala, tärkkelyspitoisuuden korkea ja sadon tuotantopanoksiin nähden suuri. Tällaisia lajikkeita on jo nyt viljelyssä suotuisimmilla tuotantoalueilla Euroopassa ja Suomeenkin vastaavia lajikkeita voitaneen kehittää kasvuolojen parantuessa ilmastonmuutoksen myötä.

5.1 Kevät- ja syysvehnän, ohran sekä ruisvehnän potentiaali etanolin raaka-aineena

Tällä hetkellä ohra näyttäisi olevan paras liikennepolttoaine-etanolin tuotannon raaka-aine Suomen oloissa. Sen viljely on laajempaa kuin minkään muun viljan (Tike 2010), mikä kertoo sen tuotannon varmuudesta. Ohran, varsinkin mallasohralajikkeiden, jyvän valkuaispitoisuus on matala, ja se tarvitsee vähemmän lannoitusta kuin nykyisin käytössä olevat kevätvehnät. Lisäksi ohran sato on tuotantopanoksiin nähden suurempi kuin esim. kevätvehnän. Ohran ja kevätvehnän keskisadot ovat samaa luokkaa (Tike 2010), vaikka ohran kasvu-aika on jopa 20 päivää lyhempi kuin kevätvehnän (Kangas ym. 2008). Lyhempi kasvu-aika mahdollistaa sadonkorjuun aiemmin ja suotuisemmissa ilmasto-oloissa. Tällöin kuivaukustannukset ja kuivauksesta aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt laskevat. Lisäksi aikaisen ohran jälkeen voi tarvittaessa kylvää syysviljaa.

Syysvehnä olisi vielä ohraa parempi etanolivilja. Se voi käyttää lannoitetyypen tarkemmin kuin kevätviljat, koska sen kasvu-aika ja lannoitus sijoittuvat sekä syksyllä että keväeseen. Se hyötyy talven sateista ja kevään sulamisvesien tuomasta kosteudesta välttämällä siten kuivuuden aiheuttaman satopotentialin laskun. Lisäksi sen jyvien valkuaispitoisuus on luontaisesti matalampi kuin kevätvehnällä (12-13 %, Kangas ym. 2008). Ruisvehnä voi olla vielä syysvehnäkin satoisampi ja sen jyvien valkuaispitoisuus voi olla matalampi. Suomessa nykyisten ruisvehnä-lajikkeiden jyvien valkuaispitoisuus on jo tällä hetkellä alle 12 % (Kangas ym. 2006), etelämpänä Latviassa on joillain ruisvehnä-lajikkeilla päästy jopa noin 9 % valkuaispitoisuuteen (Jansone ym. 2010). Syysviljojen talvehtiminen on kuitenkin usein epävarmaa, ja kasvuston kärsiessä talvihuhoista niiden lopullinen sato jää tuotantopanoksiin nähden optimaalista pienemmäksi. Syysvehnää ja ruisvehnää viljelläänkin nykyään vain Etelä-Suomessa vyöhykkeillä I ja II. Nykyiset ruisvehnä-lajikkeet ovat alttiita tähkäidännälle, mikä verottaa niiden tärkkelyspitoisuutta ja siten energiasisältöä. Suomalainen Boreal Kasvinjalostus Oy on parhaillaan jalostamassa paremmin Suomen oloihin soveltuvia ruisvehnä-lajikkeita (Kasvussa 2010), joista voi tulla yhä kilpailukykyisempiä liikennepolttoaine-etanolin raaka-aineita. Muutenkin jalostusohjelmissa on mukana syys- ja kevätviljoja eri tarkoituksiin, mm. tärkkelyksen tuotantoon, jotka jo sinällään soveltuvat paremmin etanolin tuotantoon kuin leipäviljat (Boreal 2010).

5.1.1 Jyvän valkuaispitoisuus ja lannoituksen määrä

Kevätvehnää viljellään Suomessa useimmiten leipävehnäksi. Myllyt ostavat viljaa, jonka valkuaispitoisuus voi olla niinkin matala kuin 12 %, mutta maksavat lisähintaa vehnästä, jonka valkuaispitoisuus on yli 13 % (Vuori 2008). Tavallisesti myllyt joutuvat sekoittamaan viljaeriä, joiden valkuaispitoisuus vaihtelee 12-15 % välillä, jotta jauhoista tulisi hyviä leipäjauhoja (Vuori 2008). Laadukkaan leipävehnän tuottaminen vaatii panostuksia, muun muassa riittävää typpilannoitusta. Biopolttoaineen valmistuksessa taas edullisinta olisi tuottaa mahdollisimman suuri sato vähäisellä valkuaispitoisuudella, jolloin lannoitteista koituvat kasvihuonekaasupäästöt jäävät mataliksi. Suuren sadon tuottaminen vähällä lannoituksella edellyttää paitsi sopivia lajikkeita, myös satoisuutta suosivia kasvuoloja. Vaikka mallas- tai tärkkelysohra- ja tärkkelysvehnä-lajikkeilla pyritään matalaan valkuaispitoisuuteen ja korkeaan tärkkelyspitoisuuteen, alkukesän kuivuus voi haitata tämän tavoitteen toteutumista. Jos tähkien, jyvien ja versojen ja siten satopotentialin

kehittyminen jää vajaaksi kuivuuden takia, myös annettu lannoite jää maahan eikä sitä käytetä sadon rakentamiseen, vaan vasta myöhemmin kasvukaudella jyvien valkuaispitoisuuden nousuun (Peltonen-Sainio ym. 2009c). Tällaisissa oloissa sato ei muodostu kovin suureksi, mutta jyvien valkuaispitoisuus nousee. Biopolttoaine-etanolin valmistuksen kannalta tällaiset tuotantotilanteet ovat kohtalokkaita, sillä ne nostavat polttoaineen kasvihuonekaasupäästöjä saatua energiayksikköä kohti. Paras keino välttää alkukasvukauden kuivuuden tuomat haitat olisikin käyttää syyskylvöisiä lajikkeita aina kun se on mahdollista.

5.2 Kalkitus

Koska vain hyvät viljelykäytännöt mahdollistavat korkean satotason, emme ole alla olevissa laskelmissa jättäneet pois kalkituksen osuutta, vaikka yksittäisenä toimenpiteenä juuri kalkituksen pois jättämisellä saataisiin viljelyn päästöt EU:n määrittämälle tavoitetasolle (vehnällä 23 g CO₂-ekvivalenttia/MJ energiaa) tai jopa sen alle. Kalkitus on niin tärkeää kasvien ravinteiden saannille, että ilman sitä pitäisi lannoitukselle laskea huomattavasti suuremmat päästöt. Suomi on tässä suhteessa moniin muihin Euroopan maihin verrattuna eriarvoisessa asemassa, sillä monissa muissa maissa maassa on luonnostaan kalkkia ja maan pH on suurempi kuin täällä, jolloin kalkitusta tarvitaan vähemmän. Monissa Pohjois-Euroopan maissa, kuten Ruotsissa ja Tanskassa, ylläpitokalkitusta tarvitaan kuitenkin jopa enemmän kuin Suomessa (Elonen 1982), luultavasti isompien satojen ja siten suuremman lannoitevaikutuksen takia. Saarela ym. (2000) viittaa saksalaiseen tutkimukseen, jonka mukaan Saksassa ylläpitokalkitukseen tarvittaisiin hienoilla kivennäismailla 800-1000 kg/ha/v. Laskiessamme nyt etanolintuotannon minimipäästöjä Suomessa päädyimme käyttämään ylläpitokalkituksen määränä pienintä Suomen osalle julkaistua suositusta 300 kg/ha/v, joka on Elosen (1982) antama keskiarvo ja K-maatalouden antama minimi ylläpitokalkitukselle. Oletuksemme on, ettei peltojen perustaso-pH:n nosto riipu etanoliviljan viljelystä, vaan on toimenpide, joka olisi ollut tehtävä joka tapauksessa. Sen sijaan etanoliviljan viljelyn aiheuttaman happamoitumisen neutraloiminen kuuluu tämän laskelman piiriin.

5.3 Potentiaalisen etanoliviljan minimipäästöt

Mitä suurempi sato saadaan annetuilla panoksilla, sitä pienemmäksi muodostuu kasvihuonekaasupäästöjen määrä etanolista saatavaa energiayksikköä kohden. Sadon lisäksi jyvän valkuais- ja tärkkelyspitoisuus, satoindeksi ja typen oton ja käytön tehokkuus määräävät sen, paljonko tärkkelystä ja siitä saatavaa etanolienergiaa kohti kuluu tuotantopanoksia ja muodostuu päästöjä. Ihanteellinen etanoliviljalajike olisi sellainen, jonka sato, sadon osuus kokonaisbiomassasta ja typen käytön tehokkuus olisivat suuret ja jonka jyvissä olisi paljon tärkkelystä ja vähän valkuaista (Jansone ym. 2010). Suurisatoisia viljoja, joiden jyvisissä tyypillisesti on vähän valkuaista, on jo markkinoilla mm. tärkkelys- ja mallastusteollisuuden tarpeita varten (Kangas ym. 2008, Boreal 2010). Tällaisia ovat esim. kevätvehnä Trappe, jonka pitkän ajan (2001-2008) keskiarvosato on miltei 6000 kg/ha ja jyvän valkuaispitoisuus vain 11,8 % ja ohrat Afrodite ja Beatrix, joiden valkuaispitoisuus on vain 11,2-11,3 % ja keskiarvosadot 5700-5800 kg/ha (Kangas ym. 2008). Syysvehnäajikkeille tällä hetkellä annetut jyvän keskimääräiset valkuaisastot ovat melko korkeita ja keskisadot pienempiä kuin ohralla ja vehnällä. Veeti- ja Gunbo -lajikkeilla valkuaispitoisuus on n. 12 % ja keskimääräinen sato 5500-5700 kg/ha (Kangas ym. 2008). Talvehtimisestä ja kasvukauden oloista riippuen sadot vaihtelevat kuitenkin paljon, esim. vuosina 2005-2008 sekä Veeti- että Gunbo-syysvehnäajikkeiden sadot vaihtelivat välillä 4000-7000 kg/ha (Kangas ym. 2008). Ruisvehnäajikkeiden jyvien valkuaispitoisuus on jo tällä hetkellä alle 12 %, mutta sadot vielä vain syysvehnän luokkaa (Kangas ym. 2006). Ilmaston lämmitessä ilmastonmuutoksen myötä talvet leudontuvat ja kasvukaudet pitenevät vähitellen Suomessa (Jylhä ym. 2004, Peltonen-Sainio ym. 2009b). Näiden muutosten ansiosta syysmuotoisten viljalajikkeiden viljelyedellytykset tulevat vähitellen paranemaan, jolloin nykyinen viljelyn epävarmuus todennäköisesti vähenee ja sadot kasvavat (Peltonen-Sainio ym. 2009b), mikä osaltaan edistää polttoaine-etanolin tuotannon kestävyyttä.

Typen käytön tehokkuus kertoo siitä, miten suuren osan vilja ottaa satoonsa sille annetusta tyypilannoitteesta. Suomalaisilla kevätvehnäajikkeilla se on keskimäärin 82 %. Satoisimmilla viljalajikkeilla, kuten Epos, Bombona tai Amaretto, typen käytön tehokkuus voi kuitenkin olla jopa 93 %. Satoisuutta, matalaa jyvien valkuaispitoisuutta, korkeaa tärkkelyspitoisuutta ja hyvää typen käytön tehokkuutta voidaan edelleen tehostaa jalostuksella. Syyskylvöisten viljojen typen käytön tehokkuus muodostuu yleensä paremmaksi kuin kevätkylvöisten, koska ne ottavat syksyllä usein kosteana säilyvästä maaperästä tyypeä niin kauan kuin lämpötilat suosivat kasvua, ja aloittavat typen oton jälleen heti kasvukauden alettua keväällä,

jolloin kevätlannoituskin tulee ajoittaa mahdollisimman aikaiseksi satoisuuden varmistamiseksi. Kevät-
kylvöisillä lajikkeilla typen ottoa säätelevät kevään kasvuolot ja lyhyt kasvuaika.

Seuraavissa kappaleissa olemme kartoittaneet viljelyn päästöjä kevä- ja syysvehnän, ruisvehnän ja ohran
potentiaalisilla lajikkeilla, joiden jyvien valkuaispitoisuus, satoindeksi ja typen käytön tehokkuus ovat
lähellä lajikkeen optimia etanolintuotannon kannalta. Laskennassa on käytetty näiden potentiaalisten
ominaisuuksien mukaisia typpilannoitustasoja, joita alemmas on satofysiologisista syistä vaikea päästä
(vrt. Peltonen-Sainio & Jauhiainen 2010). Suomen nykyiset tuotanto-olot eivät kuitenkaan välttämättä
suosi tässä kuvattujen, etanolintuotantoon optimoitujen viljalajikkeiden todellisen potentiaalinen toteutumista,
mutta jo lähitulevaisuus voi tuoda muutoksia tähän tilanteeseen (Peltonen-Sainio ym. 2009b). Olemme
käyttäneet kullakin kasvilla 16 % puintikosteutta. Hyvissä korjuuoloissa voi puintikosteus Suomessa olla
jo tälläkin hetkellä alle 16 %, mutta yleisesti viljoja on 2000-luvulla Suomessa puitu noin 20 % kosteu-
dessa. Ilmaston muuttuessa lämpimämmäksi ja kasvukauden pidemmäksi voidaan Suomessa päästä kyl-
vämään ja korjaamaan aiemmin, mikä osaltaan vähentää viljan kuivauksesta aiheutuvia kasvihuonekaasu-
päästöjä. Maasta oletimme mineralisoituvan 30 kg N/ha, mitä voi pitää kohtuullisena keskiarvona. Maasta
mineralisoituvan typen määrä voisi olla suurempikin, jos viljelykiertoihin otettaisiin enemmän mukaan
tyypeä maahan tuovia palkokasveja (Eriksen 2001) ja jos muiden kasvien jäämätyypeä hyödynnettäisiin
tehokkaasti. Maaperästä tulee tulevaisuuden lämpimämmässä ilmastossa mobilisoitumaan yhä enemmän
ravinteita, jolloin Suomen tuotantotilanteet alkavat vähitellen muistuttaa Keski-Euroopan nykyisiä oloja
(Peltonen-Sainio ym. 2009b). Kalkituksessa olemme käyttäneet Suomen oloihin annettua ylläpitokalki-
tuksen minimitasoa (300 kg/ha/v).

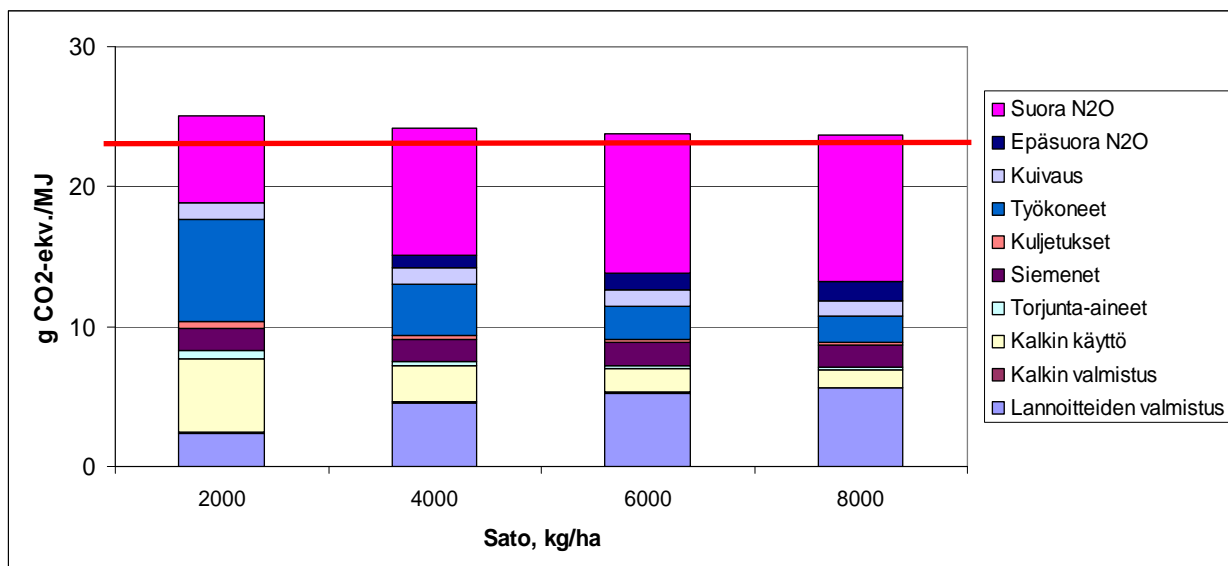
5.3.1 Kevätvehnän etanolintuotantoon optimoitu lajike

Kevätvehnän etanolintuotantoon optimoitu lajike olisi sellainen, jossa jyvien valkuaispitoisuus olisi vain
10 % satoindeksin ollessa 43 % ja typen käytön tehokkuuden 93 %. Oljen typpipitoisuus on noin 0,42 %.
Tällä hetkellä suomalaisten kevätehnälajikkeiden typen käytön tehokkuus on keskimäärin 82 %, mutta
moderneilla huippusatoisilla lajikkeilla päästään jo 93 %:iin. Mukaan on laskettu maasta mobilisoituva
typpi, jolloin typpilannoitusta on arvioitu voitavan vähentää noin 30 kg/ha (taulukko 12).

Taulukko 12. Kevätvehnän typen käyttö biomassaan ja lannoitus eri satotasoilla, kun jyvien valkuaispitoisuus on
10 %, satoindeksi 43 %, typen käytön tehokkuus 93 % ja oljen typpipitoisuus noin 0,42 %. Maasta on arvioitu va-
pautuvan tyypeä siten, että typpilannoitusta voidaan vähentää noin 30 kg/ha. Kaikki taulukon luvut ovat kg/ha.

Jyväsat	Olkisato	Jyväsadon N	Olkisadon N	N otto yhteensä	N tarve (N otto/0,93)	Lannoitus
2000	2651	32,0	11,1	43,1	46,4	16,4
4000	5302	64,0	22,3	86,3	92,8	62,8
6000	7953	96,0	33,4	129,4	139,1	109,1
8000	10605	128,0	44,5	172,5	185,5	155,5

Eri satotasoilla kevätehnän viljelystä tällä tyypilajikkeella koituisivat kuvan 14 mukaiset päästöt ener-
giayksikköä (MJ) kohti. Maata ylläpitokalkitaan tässä laskelmassa minimisuositusten mukaisesti (300
kg/ha/v), ja puinti tehdään jyvien kosteuden ollessa 16 %. Kuvasta 14 nähdään, että kevätehnän viljelys-
tä aiheutuvat päästöt eivät alita direktiivin oletusarvoa edes tässä optimitalauksessa. Tosin jättämällä
kuivauksesta aiheutuvat päästöt pois, päästäisiin alle oletusarvon lukuun ottamatta 2000 kg/ha satoa.



Kuva 14. Kevätvehnän viljelystä aiheutuvat päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ energiaa), kun typpilannoitus tehdään taulukon 12 mukaisesti, sato puidaan 16 % kosteudessa ja peltoa ylläpitokalkitaan minimisuositusten mukaisesti (300 kg/ha/v). Punainen viiva osoittaa päästötason, joka on RES-direktiivissä vehnän viljelyn oletuspäästö (23 g CO₂-ekvivalenttia/MJ etanolia).

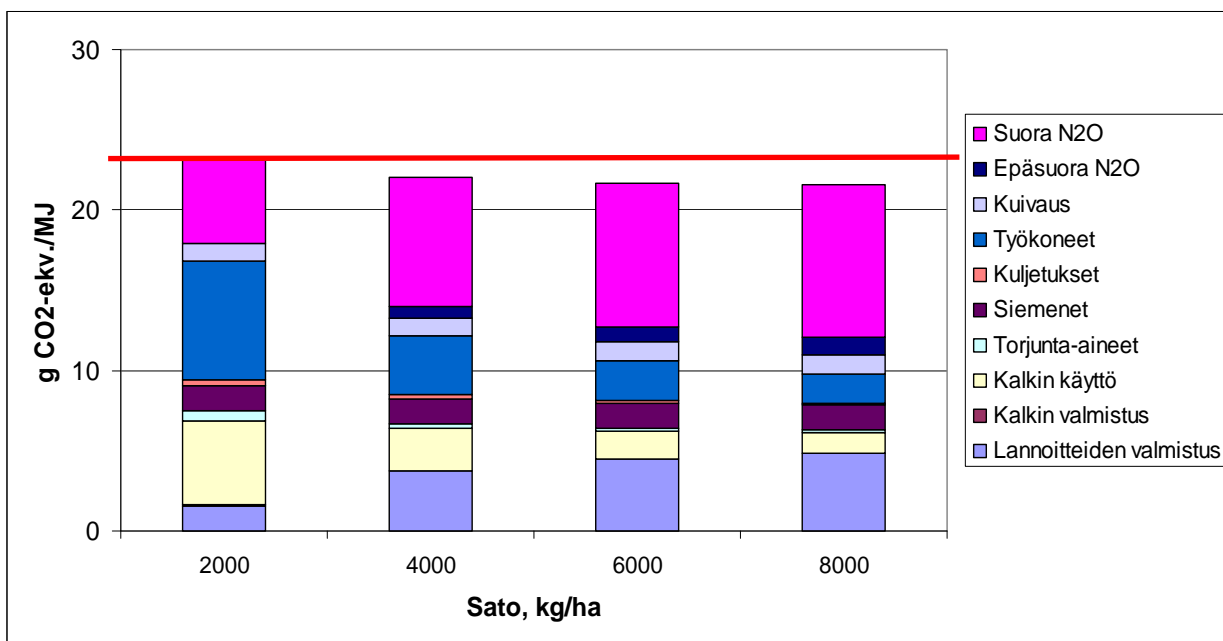
5.3.2 Syysvehnän ja ruisvehnän etanolintuotantoon optimoitu lajike

Syysvehnällä ja ruisvehnällä on mahdollista päästä pienempään jyvän valkuaispitoisuuteen ja suurempaan typen käytön tehokkuuteen kuin kevätvehnällä. Suurempi typen käytön tehokkuus (tässä laskelmassa 98 %) aiheutuu siitä, että syksyllä kylvettävä vehnä tai ruisvehnä voi käyttää tehokkaasti maasta mineralisoituvaa typpeä ja lannoitetyppeä sekä syksyllä että seuraavana keväänä talvisateiden ja lumen sulamisvesien tuoman kosteuden turvin. Tällä hetkellä syys- ja kevätvehnän jyvän valkuaispitoisuudet eroavat noin yhden prosenttiyksikön, joten laskettaessa syysvehnän tehokasta typpilajiketta jyvän valkuaispitoisuudeksi arvioitiin 9 %. Samaa arvoa käytettiin ruisvehnälle. Satoindeksi ja oljen typpipitoisuus ovat tässä laskelmassa syysvehnällä ja ruisvehnällä samat kuin kevätvehnällä. Maasta on arvioitu vapautuvan typpeä siten, että typpilannoitusta voidaan vähentää noin 30 kg/ha.

Taulukko 13. Syysvehnän ja ruisvehnän typen käyttö biomassaan ja lannoitus eri satotasoilla, kun jyvien valkuaispitoisuus on 9 %, satoindeksi 43 %, typen käytön tehokkuus 98 % ja oljen typpipitoisuus noin 0,42 %. Maasta on arvioitu vapautuvan typpeä siten, että typpilannoitusta voidaan vähentää noin 30 kg/ha. Kaikki taulukon luvut ovat kg/ha.

Jyväsat	Olkisato	Jyväsadon N	Olkisadon N	N otto yhteensä	N tarve (N otto/0,98)	Lannoitus
2000	2651	28,8	11,1	39,9	40,7	10,7
4000	5302	57,6	22,3	79,9	81,5	51,5
6000	7953	86,4	33,4	119,8	122,2	92,2
8000	10605	115,2	44,5	159,7	163,0	133,0

Eri satotasoilla syysvehnän ja ruisvehnän viljelystä tällä typpilajikkeella koituisivat kuvan 15 mukaiset päästöt energiayksikköä (MJ) kohti. Maata ylläpitokalkitaan tässä laskelmassa minimisuositusten mukaisesti (300 kg/ha/v), ja puinti tehdään jyvien kosteuden ollessa 16 %. Kuvasta 15 nähdään, että syysvehnän ja ruisvehnän viljelystä aiheutuvat päästöt alittavat direktiivin oletusarvon kaikilla satotasoilla, vaikka kuivauksesta aiheutuvat päästöt on laskettu mukaan.



Kuva 15. Syysvehnän ja ruisvehnän viljelystä aiheutuvat päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ energiaa), kun typpilannoitus tehdään taulukon 13 mukaisesti, sato puidaan 16 % kosteudessa ja peltoa ylläpitokalkitaan minimisuositusten mukaisesti (300 kg/ha/v). Punainen viiva osoittaa päästötason, joka on RES-direktiivissä vehnän viljelyn oletuspäästö (23 g CO₂-ekvivalenttia/MJ etanolia).

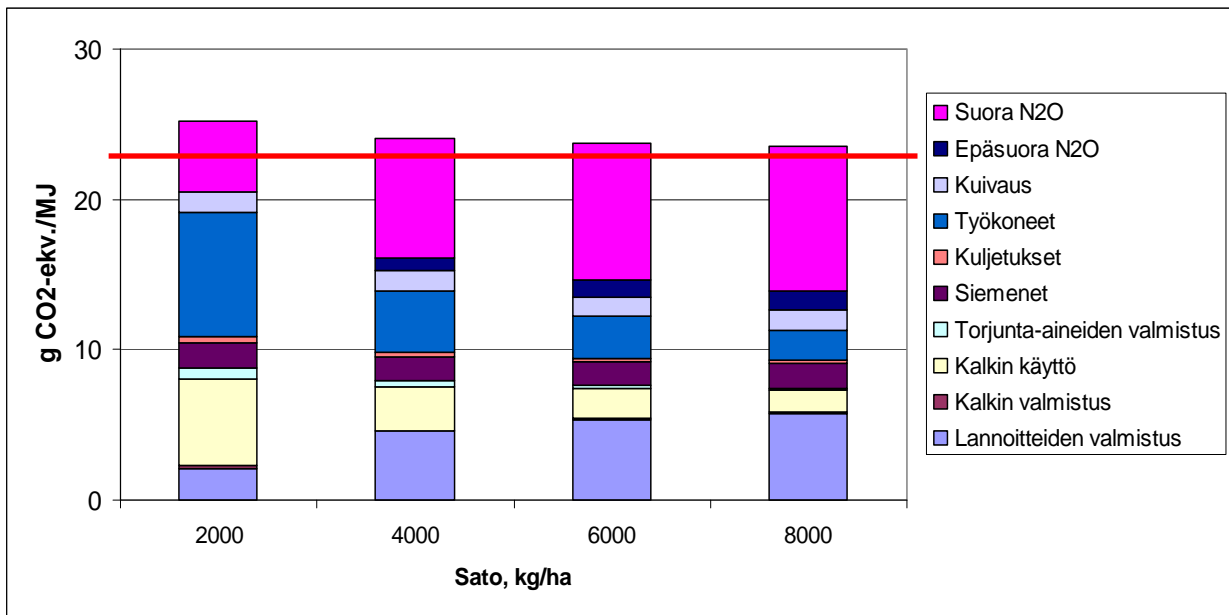
5.3.3 Ohran etanolintuotantoon optimoitu lajike

Ohralla ei voida nykyoloissa juurikaan päästä alle 11 % jyvän valkuaispitoisuuteen. Satoindeksi sen sijaan on ohralla parempi kuin kevät- ja syysvehnällä (jopa 55 %), samoin typen käytön tehokkuus on ohralla isompi (98 %) kuin kevätvehnällä. Sadon korkean valkuaispitoisuuden lisäksi oljen typpipitoisuus on ohralla suurempi kuin vehnällä ja ruisvehnällä (0,43 %). Taulukossa 14 ohran optimilajike olisi sellainen, jossa jyvien valkuaispitoisuus olisi 11 %, satoindeksi 0,55 ja typen käytön tehokkuus 98 %. Maasta on arvioitu vapautuvan tyyppiä siten, että typpilannoitusta voidaan vähentää noin 30 kg/ha.

Taulukko 14. Ohran typen käyttö biomassaan ja lannoitus eri satotasoilla, kun jyvien valkuaispitoisuus on 11 %, satoindeksi 55 %, typen käytön tehokkuus 98 % ja oljen typpipitoisuus noin 0,43 %. Maasta on arvioitu vapautuvan tyyppiä siten, että typpilannoitusta voidaan vähentää noin 30 kg/ha. Kaikki taulukon luvut ovat kg/ha.

Jyväsato	Olkisato	Jyväsadon N	Olkisadon N	N otto yhteensä	N tarve (N otto/0,98)	Lannoitus
2000	1636	35,2	7,0	42,2	43,1	13,1
4000	3273	70,4	14,1	84,5	86,2	56,2
6000	4909	105,6	21,1	126,7	129,3	99,3
8000	6545	140,8	28,1	168,9	172,4	142,4

Eri satotasoilla ohran viljelystä tällä typpilajikkeella koituisivat kuvan 16 mukaiset päästöt energiayksikköä (MJ) kohti. Maata ylläpitokalkitaan tässä laskelmassa minimisuositusten mukaisesti (300 kg/ha/v), ja puinti tehdään jyvien kosteuden ollessa 16 %. Kuvasta 16 nähdään, että ohran viljelystä aiheutuvat päästöt eivät alita direktiivin oletusarvoa vehnälle. Jättämällä kuivauksesta aiheutuvat päästöt pois, oletusarvo alittuisi kuitenkin kaikilla muilla paitsi 2000 kg/ha sadolla.



Kuva 16. Ohran viljelystä aiheutuvat päästöt (g CO₂-ekvivalenttia/MJ energiaa), kun typpilannoitus tehdään taulukon 14 mukaisesti, sato puidaan 16 % kosteudessa ja peltoa ylläpitokalkitaan minimisuositusten mukaisesti (300 kg/ha/v). Punainen viiva osoittaa päästötason, joka on RES-direktiivissä vehnän viljelyn oletuspäästö (23 g CO₂-ekvivalenttia/MJ etanolia).

6 Yhteenveto

Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivin uusiutuvista lähteistä peräisin olevan energian käytön edistämiseksi (ns. RES-direktiivin) 2009/28/EY artiklan 19(2) mukaan jäsenvaltioiden oli 31.3.2010 mennessä toimitettava komissiolle kertomus, joka sisältää luettelon alueista, joilla maatalouden raaka-aineiden viljelystä peräisin olevien tyyppillisten kasvihuonekaasupäästöjen voidaan olettaa olevan pienempiä tai samansuuruisia kuin direktiivin liitteessä V olevan D osan ”Eritellyt oletusarvot viljelylle” -otsikon alla esitetyt päästöt, jotka ovat:

- etanoli vehnästä 23 g CO₂-ekv./MJ
- etanoli sokerijuurikkaasta 12 g CO₂-ekv./MJ
- biodiesel rapsista 29 g CO₂-ekv./MJ.

Direktiivissä ei ole annettu oletusarvoja ohralle ja rypsilille, jotka kuitenkin olisivat potentiaalisia biopolttoaineiden raaka-aineita Suomessa.

Laskelmat tehtiin parhaan ja huonoimman vaihtoehdon skenaarioille ohralle, vehnälle, sokerijuurikkaalle sekä rypsilille ja rapsille. Tämän lisäksi viljelyn päästöt laskettiin NUTS 2 -tasolle, koska tällä tasolla Suomi ilmoitti vehnän ja rapsin alueelliset päästöt komissiolle. NUTS 2 -tason laskennassa eriteltiin kuivauksesta aiheutuvat päästöt, koska direktiivin oletusarvojen laskennassa ei ole kuivausta mukana. Elinkaarilaskennassa kuivaus on kuitenkin yleensä ollut osana viljan korjuuta, jonka vuoksi se otettiin myös tähän tutkimukseen mukaan. Myös vehnän ja ohran kalkitsemisesta aiheutuvat päästöt esitettiin erikseen, koska kalkin käyttö ei ollut mukana vehnän oletusarvon laskennassa. Suomessa täytyy kuitenkin myös vehnäpellot kalkita kasvukunnan ylläpitämiseksi.

Parhaan ja huonoimman vaihtoehdon tarkasteluissa todettiin, että Suomessa ei päästä alle direktiivin esittämien oletusarvojen millään viljelykasvilla. Parhaassa tapauksessa vehnän viljelyssä päästäisiin alle direktiivin oletusarvon, jos kalkkia ja kuivausta ei huomioitaisi. NUTS 2 -tasolla ainoastaan ohran viljely Ahvenanmaalla jäisi alle direktiivin oletusarvojen, jos kalkkia ja kuivausta ei huomioitaisi. Ohran viljelystä aiheutuvat päästöt olivat alhaisemmat kuin vehnän, koska lannoitusmääränä käytettiin mallasohran lannoitussuositusta, joka on hyvin alhainen, ja ohran keskisadot ovat kuitenkin samaa tasoa kuin vehnän.

Laskenta sisältää paljon epävarmuustekijöitä, esimerkiksi maaperän N₂O-päästöjen osalta. Viljelyn päästöjen laskennassa ei myöskään oteta huomioon maankäytön muutoksista aiheutuvia hiilivarantojen muutoksia, koska tälle on oma erillinen kohtansa polttoaineen käytöstä aiheutuvien kokonaispäästöjen laskukaavassa. Maankäytön muutoksesta aiheutuvan hiilivarannon muutoksen lisäksi myös itse viljely aiheuttaa maaperän hiilivarantoihin muutoksia, joita ei tässä laskennassa ole huomioitu niiden epävarmuuden vuoksi, eikä direktiivissäkään ole mainintaa niiden huomioimisesta.

Peruslaskelmien lisäksi tehtiin herkkyystarkasteluja, joiden avulla selvitettiin eri tekijöiden vaikutuksia päästöihin ja mahdollisuuksia päästä alle direktiivin esittämien arvojen myös Suomen oloissa. Herkkyystarkasteluissa todettiin, että suurin vaikutus viljelyn päästöihin on sadolla ja biokaasulaitoksen tyyppiveden käyttämisellä väkilannoitteiden sijaan. Myös typensitojakasvien viljely aluskasvina toi melko suuria päästösäästöjä verrattuna perustapaukseen. Suurempia satoja varten pitäisi kuitenkin pääsääntöisesti käyttää myös suurempia lannoitusmääriä, joka taas nostaa päästöjä ellei viljellä erityisesti etanolin raaka-aineeksi soveltuvia tärkkelyslajeja, joilla voisi olla mahdollista päästä suurempiin satoihin samoilla lannoitusmäärillä. Suomessa ei kuitenkaan ole viljelty tärkkelyspitoisia vehnälajeja, joiden niiden soveltuvuudesta Suomen oloihin ja potentiaalisista sadoista on vaikea esittää arvioita. Mallas- ja tärkkelysohraa viljellään jo nyt Suomessa, ja sillä onkin saavutettu hyviä satotasojia lannoitussuosituksen ollessa 20 - 30 kg/ha alhaisemmat kuin rehuohran lannoitussuosituksen.

Kevätvehnän, syysvehnän, ruisvehnän ja ohran lajikkeita on mahdollista kehittää siten, että niiden sadon valkuaispitoisuus laskee, satoindeksi nousee ja typen käytön tehokkuus kasvaa. Luvussa 5 esitellyt tyyppilajikkeet edustavat lajikkeita, joita Suomessa todennäköisesti tulee viljelyyn jalostuksen edetessä ja kasvuolojen parantuessa ilmastomuutoksen myötä. Vaikka tyyppilajikkeet ovat optimaalisia etanolin tuotantoa ajatellen, kevätkylvöisellä vehnällä ja ohralla päästään vain suurimmilla satotasolla Suomen

oloissa EU:n liikennepolttoaine-etanolin tuotannolle määrittelemien viljelyn päästömaksimin lähelle ja syysvehnällä sekä ruisvehnällä päästään rajan alle kaikilla sadoilla. Suomen oloissa ongelmana on kalkitus, jota meidän happamissa pelto-oloissamme on käytettävä vähintään tässä laskelmassa käytetty määrä, jotta kasvi saisi ravinteet tehokkaasti käyttöönsä. Jos edellä olevista laskelmista poistettaisiin keinotekoisesti kalkituksen osuus, päästöjen määrä laskisi kaikissa tapauksissa alle EU:n määrittelemän raja-arvon. Esimerkiksi Ahlgren ym. (2009) eivät ole laskeneet kalkituksesta aiheutuvia päästöjä ollenkaan mukaan viljelystä aiheutuviin päästöihin. Kun kuitenkin viljely ja lannoitus happamoittavat maata ja ylläpitokalkitusta tarvitaan kaikkialla, missä viljelyä harjoitetaan, kalkitus olisi laskettava mukaan päästöihin kaikissa EU-maissa. Voidaan myös kysyä, paljonko korkeamman luontaisen kalkkipitoisuuden maissa viljelystä olevan maan pH:n ylläpitoon lopulta kuluu maan luontaista kalkkia ja vapautuu hiilidioksidia viljelyn seurauksena, vaikkei sitä maahan erikseen lisätäkään, ja pitäisikö nämäkin viljelystä aiheutuvat päästöt ottaa huomioon päästölaskelmissa?

7 Kirjallisuus

Agrimarket 2009. Kasvuohjelmat. Saatavissa: <http://www.agrimarket.fi/main.cfm?iO=118>

Ahlgren, S., Hansson, P.-A., Kimming, M., Aronsson, P. & Lundkvist, H. 2009. Greenhouse gas emissions from cultivation of agricultural crops for biofuels and production of biogas from manure. 2009-09-08, Revised version. Dnr SLU ua 12-4067/08.

Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A. 2004. A limited LCA comparing large- and medium-scale production of rape methyl ester (RME) under Swedish conditions. *Biomass and Bioenergy* 26 (2004) 545-559.

Bernesson, S., Nilsson, D. & Hansson, P.-A. 2006. A limited LCA comparing large- and small-scale production of ethanol for heavy engines under Swedish condition. *Biomass and Bioenergy* 30 (2006) 46-57.

Boreal Kasvinjalostus Oy 2010. Saatavissa: <http://www.boreal.fi>

Elonen, P. 1982. Happamuuden syyt ja haitat. Teoksessa: Kalkitusopas, TietoTuottamaan 18, Maatalouskeskusten liitto, s. 6-10.

Eriksen, J. 2001. Nitrate leaching and growth of cereal crops following cultivation of contrasting temporary grasslands. *Journal of Agricultural Science* 136: 271-281.

Garand, M.J., Simard, R.R., MacKenzie, A.F. & Hamel, C. 2001. Underseeded clover as a nitrogen source for spring wheat on a Gleysol. *Canadian Journal of Soil Science* 81:93-102.

Grisso, R. D., Perumpral, J. V. & Zoz, F. M. 2007. Preadsheep for matching tractors and drawn implements. *Applied Engineering in Agriculture*, Vol. 23(3): 259-265, American Society of Agricultural and Biological Engineers ISSN 0883-8542.

IPCC 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Chapter 11. N₂O Emissions from Managed Soils, and CO₂ Emissions from Lime and Urea Application. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use. Saatavissa: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/4_Volume4/V4_11_Ch11_N2O&CO2.pdf

Jaakkola, A. 1982a. Tuloksia kalkituskokeista. Teoksessa: Kalkitusopas, TietoTuottamaan 18, Maatalouskeskusten liitto, s. 19-29.

Jaakkola, A. 1982b. Käyttösuositukset. Kalkitussuositukset. Teoksessa: Kalkitusopas, TietoTuottamaan 18, Maatalouskeskusten liitto, s. 45-46.

Jansone, I., Malecka, S. & Miglane, V. 2010. Suitability of winter triticale varieties for bioethanol production in Latvia. *Agronomy Research* 8 (Special Issue III): 573-582.

JEC 2007. Well-to-Wheel Analysis of Future Automotive Fuels and Powertrains in the European Context. WELL-to-TANK Report. Version 2c, March 2007. Saatavissa: <http://ies.jrc.ec.europa.eu/WTW>

Jylhä, K., Tuomenvirta, H. & Ruosteenoja, K. 2004. Climate change projections for Finland during the 21st century. *Boreal Environment Research* 9: 127-152.

Kalkitusopas 2007. Saatavissa: <http://www.kalkitusyhdistys.net/>

Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2006. Virallisten lajikekokeiden tulokset 1999-2006. MTT:n selvityksiä 132. Kasvintuotanto. 225 s. ISBN-10 952-487-069-X.

Kangas, A., Laine, A., Niskanen, M., Salo, Y., Vuorinen, M., Jauhiainen, L. & Nikander, H. 2008. Virallisten lajikekokeiden tulokset 2001-2008. MTT:n selvityksiä 167. Kasvintuotanto. 196 s.

Kasvussa 2010. Boreal Kasvinjalostus Oy:n tiedotuslehti 1/2010, s. 7.

K-maatalouden viljelyohjelma. Saatavissa: <http://www.k-maatalous.fi/tuotteet/kasvinviljely/viljelyohjelmat>

K-maatalous 2010. Viljelyopas. Saatavissa: http://www.k-maatalous.fi/palvelut/asiakkuus/Documents/Viljelyopas_suomi.pdf

Känkänen, H. & Eriksson, C. 2007. Effects of undersown crops on soil mineral N and grain yield on spring barley. *European Journal of Agronomy* 27: 25-34.

Känkänen, H., Kangas, A., Mela, T., Nikunen, U., Tuuri, H. & Vuorinen, M. 1998. Timing incorporation of different green manure crops to minimize the risk of nitrogen leaching. *Agricultural and Food Science in Finland* 7: 553-567.

Kymäläinen, M. 2007. Bioetanoli- ja biokaasutehdas Hämeeseen. Biojalostamo Hämeeseen –seminaari 12.6.2007, Hämeenlinna. PowerPoint-esitys. Saatavissa: http://portal.hamk.fi/portal/page/portal/HAMKJulkisetDokumentit/Tutkimus_ ja_ kehitys/Bioketju/Maritta_Kymalainen.pdf

Lassi, K. & Tulisalo, U. 2009. Viljelytekniikka. Öljykasvinviljelijän opas. Saatavissa: <http://www.agronet.fi/rypsi2000/viljelytekniikka.htm>

Maaseutuvirasto 2009. Maatalouden ympäristötuen sitoumusehdot 2009. Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahasto. Saatavissa: http://www.mavi.fi/attachments/mavi/ymparistotuki/5FKLsan7m/Ymparistotuen_sitoumusehdot_2009.pdf

Maatalouskalenteri 2007. ProAgria Maaseutukeskusten Liitto.

Paavola, T., Regina, K. & Rintala, J. 2010. Valittujen orgaanisten lannoitevalmisteiden ja väkilannoitteiden kasvihuonekaasutase peltokäytössä. 25.1.2010. Julkaisematon.

Pahkala, K., Hakala, K., Kontturi, M. & Niemeläinen, O. 2009. Peltobiomassat globaalina energianlähteenä. *Maa- ja elintarviketalous* 137.

Peltonen, J. 2010. Ympäristösäännöt estävät myllyvehnän viljelyn. Maatilan Pellervo. Helmikuu 2010.

Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L. & Hannukkala, A. 2007. Declining rapeseed yields in Finland: how, why and what next? *Journal of Agricultural Science* 145: 587-598.

Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., Jauhiainen, L. & Ruosteenoja, K. 2008. Rapsi korvaa rypsin jo lähivuosikymmeninä ilmastonmuutoksen edetessä. *Maataloustieteenpäivät 2008*.

Peltonen-Sainio, P., Hakala, K., Jauhiainen, L. & Ruosteenoja, K. 2009a. Comparing regional risks in producing turnip rape and oilseed rape - Impacts of climate change and breeding. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Soil and Plant Science* 59: 129-138.

- Peltonen-Sainio, P., Jauhiainen, L., Hakala, K. & Ojanen, H. 2009b. Climate change and prolongation of growing season: changes in regional potential for field crop production in Finland. *Agricultural and Food Science* 18: 171-190.
- Peltonen-Sainio, P., Rajala, A., Känkänen, H. & Hakala, K. 2009c. Improving farming systems in northern European conditions. In: V. O. Sadras and D. F. Calderini (eds.) *Crop Physiology. Applications for Genetic Improvement and Agronomy*. Elsevier, Amsterdam. pp. 71-97.
- Peltonen-Sainio, P. & Jauhiainen, L. 2010 Cultivar improvement and environmental variability in yield removed nitrogen of spring cereals and rapeseed in northern growing conditions according to a long-term dataset. *Agricultural and Food Science*, in press.
- Pipatti, R., Tuhkanen, S., Mälkiä, P. & Pietilä, R. 2000. Maatalouden kasvihuonekaasupäästöt sekä päästöjen vähentämisen mahdollisuudet ja kustannustehokkuus. VTT julkaisuja 841. Espoo 2000.
- Pöyry 2006. Altia Corporationin Koskenkorvan tehtaan laajennus. Ympäristövaikutusten arviointiselostus. Pöyry Oyj.
- Saarela, I., Kakkonen, K. & Salo, Y. 2000. Savimaan fosforin saatavuuden parantaminen runsaalla kalkituksella sekä ruokamullan ja fosforin syvämultauksella. Maatalouden tutkimuskeskuksen julkaisuja, Sarja A 87.
- Saarijärvi, K., Mattila, P., Maljanen, M., Virkajärvi, P. & Martikainen, P. 2004. Laitumen dityppioksidijä ammoniakkipäästöt. Maataloustieteenpäivät 2004.
- Salo, T. 2010. MTT. Sähköpostiviesti 12.2.2010.
- Statistics Finland 2009. Greenhouse Gas Emissions in Finland 1990-2007. National Inventory Report under the UNFCCC and the Kyoto Protocol. 8 April 2009.
- Suomi, P., Lötjönen, T., Mikkola, H., Kirkkari, A-M. & Palva, R. 2003. Viljan korjuu ja varastointi laajenevalla viljatilalla. Maa- ja elintarviketalous 31.
- Svärd, H. 2010. Syngenta Seeds. Sähköpostiviesti 3.3.2010.
- Tike 2010. Matilda tietopalvelu. Peltokasvitilastot. Maa- ja metsätalousministeriön tietopalvelukeskus. Saatavissa: <http://www.maataloustilastot.fi/tilasto/4>
- Tuukkanen, S. 2007. Rypsimetyyliesterin tuotantopotentiaali, energiataseet ja kannattavuuslaskelma maatilamittakaavaiselle valmistukselle. Pro Gradu –tutkielma. Jyväskylän yliopisto. 1.7.2007.
- Virtanen, Y., Usva, K., Silvenius, F., Sinkko, T., Nurmi, P., Kauppinen, T. & Nousiainen, J. 2009. Peltoenergian tuotantojärjestelmien ympäristövaikutukset. Peltobioenergia-hankkeen loppuraportti. Saatavissa: http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/muutjulkaisut/5Jl2waBUc/Peltobioenergia_raportti.pdf
- Vuori, S. 2008. Vehnän valkuainen kiinnostaa mylläriä. *Farmit.net* 1/2008: 18-21.
- Welin, T. 2008. NordKalk Oy. Kirjallinen tiedonanto 9.9.2008.
- Yara 2010a. Hiilijalanjälki. Lannoituksen ilmastovaikutuksen parantaminen. Yara International 2010. Saatavissa: http://www.yara.fi/doc/31441Carbon%20footprint_Fi_web.pdf
- Yara 2010b. Peltoviljelylannoitteet. Saatavissa: http://www.yara.fi/fertilizer/products/arable_farming/
- Yara 2010c. Calculation of Carbon Footprint of Fertilizer Production. Note 31.3.2010. Yara HESQ/TK Jensen.

8 Liitteet

LIITE 1. Päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa

Taulukko 15. Ohran viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

	Paras tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ	Huonoin tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ
Lannoitteiden valmistus	5,10	8,85
Kalkin valmistus	0,15	0,23
Kalkin käyttö	5,96	8,85
Torjunta-aineiden valmistus	0,21	0,39
Siemenet	1,66	2,91
Kuljetukset	0,21	0,32
Työkoneet	3,70	5,23
Kuivaus	1,73	2,81
Suorat N ₂ O-päästöt	6,22	13,64
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,00	2,19
Yhteensä	25,95	45,41

Taulukko 16. Vehnän viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

	Paras tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ	Huonoin tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ
Lannoitteiden valmistus	6,74	9,16
Kalkin valmistus	0,14	0,19
Kalkin käyttö	5,51	7,49
Torjunta-aineiden valmistus	0,19	0,33
Siemenet	1,97	2,82
Kuljetukset	0,22	0,30
Työkoneet	3,42	4,43
Kuivaus	1,54	2,45
Suorat N ₂ O-päästöt	9,59	14,58
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,63	2,47
Yhteensä	30,96	44,24

Taulukko 17. Sokerijuurikkaan viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

	Paras tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ	Huonoin tapaus, g CO ₂ -ekv./MJ
Lannoitteiden valmistus	4,88	8,20
Kalkin valmistus	0,08	0,13
Kalkin käyttö	3,02	5,27
Torjunta-aineiden valmistus	0,11	0,16
Siemenet	0,03	0,04
Kuljetukset	0,13	0,22
Työkoneet	2,15	3,51
Suorat N ₂ O-päästöt	9,12	11,79
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,11	2,03
Yhteensä	20,61	31,35

Taulukko 18. Rypsin ja rapsin viljelyn päästöt parhaassa ja huonoimmassa tapauksessa.

	Paras tapaus, g CO₂-ekv./MJ	Huonoin tapaus, g CO₂-ekv./MJ
Lannoitteiden valmistus	8,88	11,87
Kalkin valmistus	0,09	0,19
Kalkin käyttö	3,67	7,29
Torjunta-aineiden valmistus	0,25	0,43
Siemenet	0,16	0,26
Kuljetukset	0,19	0,37
Työkoneet	4,51	5,74
Kuivaus	1,92	2,39
Suorat N ₂ O-päästöt	11,73	17,84
Epäsuorat N ₂ O-päästöt	1,92	2,67
Yhteensä	33,32	49,05

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI₉

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -verkkojulkaisusarjassa julkaistaan maatalous- ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

Puh. (03) 4188 2327, sähköposti julkaisut@mtt.fi

